



CITTÀ DI FIUMICINO

PROGETTO PRELIMINARE

STUDIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO TERRITORIO DI "ISOLA SACRA" COMUNE DI FIUMICINO (RM)

RELAZIONE DESCRITTIVA METODOLOGICA

COMMITTENTE:

PROTOCOLLO UFFICIO RICEVENTE:

PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI:

DIRETTORI TECNICI:

Ing. Alberto Gaspari

R. Erre Consulting S.r.l.



Via Proust, 34
00143 Roma
tel +39 06 5051 2784
fax +39 06 5099 0973
email progetti@rr-consulting.it



RESPONSABILE:

Ing. Alberto Gaspari
Ing. Emiliano Gaspari

Ing. Emiliano Gaspari

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Domenico Nicastro Ing. Giovanni Pintavalle
Ing. Margherita Di Virgilio Geom. Roberto Aloisi
Ing. Marzia Quattrocchi Sig. Gabriele Arena



Elaborato: **AI EA GEN 02**

Rev.: **00**

Codice commessa: **16 12 ISL**

Data: **24/10/2016**

Sommario

Premessa	2
Inquadramento dell'area.....	3
Modello bidimensionale.....	6
Equazioni del modello	7
Dati di input del modello.....	8
<i>Modello geometrico</i>	8
<i>Condizioni al contorno</i>	10
<i>Condizioni iniziali</i>	10
<i>Impianto Idroforo di Isola Sacra</i>	11
<i>Coefficiente di viscosità</i>	11
<i>Scabrezza</i>	11
<i>Infiltrazione</i>	12
<i>Modello idrologico</i>	12
Definizione letogramma di progetto.....	16
Simulazione evento reale 31 gennaio - 3 febbraio 2014.....	18
Simulazione eventi sintetici.....	25
Risultati Tr=50 anni.....	25
Risultati Tr=200 anni.....	27
Risultati Tr=500 anni.....	28
Sviluppo dell'attività di valutazione del rischio idraulico	30

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	1 di 36	

Premessa

La presente relazione illustra i risultati ottenuti nel corso delle attività di studio del rischio idraulico del territorio di Isola Sacra del Comune di Fiumicino (RM). Vengono descritti i risultati delle valutazioni preliminari del rischio idraulico sul territorio in esame rispetto ad eventi metereologici con tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni secondo le indicazioni del PAI.

Il lavoro è stato condotto sviluppando un modello di calcolo bidimensionale del territorio per fornire una caratterizzazione dell'assetto idraulico dell'Isola Sacra.

E' stato innanzitutto costruito il modello geometrico dell'area di interesse acquisendo presso le amministrazioni pubbliche tutta la cartografia, sia in formato digitale che cartaceo, necessaria. Sono state quindi condotte una serie di rilievi topografici dei manufatti presenti lungo i canali e delle sezioni in corrispondenza delle confluenze tra i canali e alcune sezioni notevoli.

Sono state condotte una serie di prove atte alla misura della capacità di permeabilità dei suoli al fine di consentire una modellazione più precisa del comportamento idrogeologico.

Il modello è stato poi calibrato confrontando i risultati della simulazione per l'evento di pioggia registrato nei giorni 31 gennaio-3 febbraio 2014 con quanto riportato nei rapporti di evento prodotti dagli organi competenti e le mappe di allagamento costruite con le immagini satellitari fornite dai satelliti Cosmo Sky Med.

Utilizzando il modello calibrato è stata effettuata la simulazione della risposta idraulica del sistema per eventi di pioggia caratterizzati da tempi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni e sono stati quindi confrontati i risultati con la mappa di vulnerabilità di Isola Sacra al fine di determinare le aree da assoggettare ad eventuali prescrizioni e le aree di pericolosità al fine di fornire le prime indicazioni utili allo sviluppo del progetto di messa in sicurezza idraulica del territorio e dotare l'Amministrazione Comunale di un ulteriore strumento di governo del territorio.

L'utilizzo di modelli numerici per l'idrodinamica consente di effettuare valutazioni sullo stato di rischio del territorio in funzione della vulnerabilità degli elementi esposti, in coerenza con i recenti provvedimenti normativi a livello europeo: la Direttiva Europea 2007/60/CE del 23 ottobre 2007 ha, infatti, stabilito e definito i concetti base per l'istituzione di un quadro per la valutazione e la gestione del rischio alluvionale volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse all'interno della Comunità. Elemento centrale della Direttiva è proprio l'adozione di procedure e metodologie di quantificazione del rischio fondate su un approccio di tipo deterministico e numerico in riferimento al quale i codici di simulazione assumono un ruolo strategico e del tutto imprescindibile. Studi fondati sull'utilizzo di modelli idraulici sono inoltre abitualmente richiesti dalle

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	2 di 36	

Autorità preposte alla gestione e pianificazione del territorio per la realizzazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), volti a perseguire l'obiettivo di garantire al territorio di competenza un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, il recupero degli ambiti fluviali e la programmazione degli usi del suolo in funzione delle condizioni di rischio presenti. Le analisi multidisciplinari basate sugli studi idrodinamici e sull'analisi geomorfologica e naturalistico-ambientale dell'area permettono, infatti, di definire la perimetrazione delle fasce fluviali.

I codici di simulazione sono inoltre comunemente utilizzati nell'ambito dei sistemi di previsione e gestione degli stati idrologici estremi per eventi di piena, consentendo infatti, mediante l'opportuna interazione con i modelli di previsione meteorologica, di simulare gli effetti al suolo in particolare in termini di livelli e portate nei corsi d'acqua e nelle reti di drenaggio, rendendo quindi possibile l'attivazione, qualora necessario, delle opportune misure di protezione civile nonché l'avvio di azioni correttive volte alla riduzione degli impatti. Si pensi ad esempio alla possibilità di effettuare le opportune manovre presso l'impianto di sollevamento od un organo di controllo idraulico in funzione dell'apporto idrologico previsto.

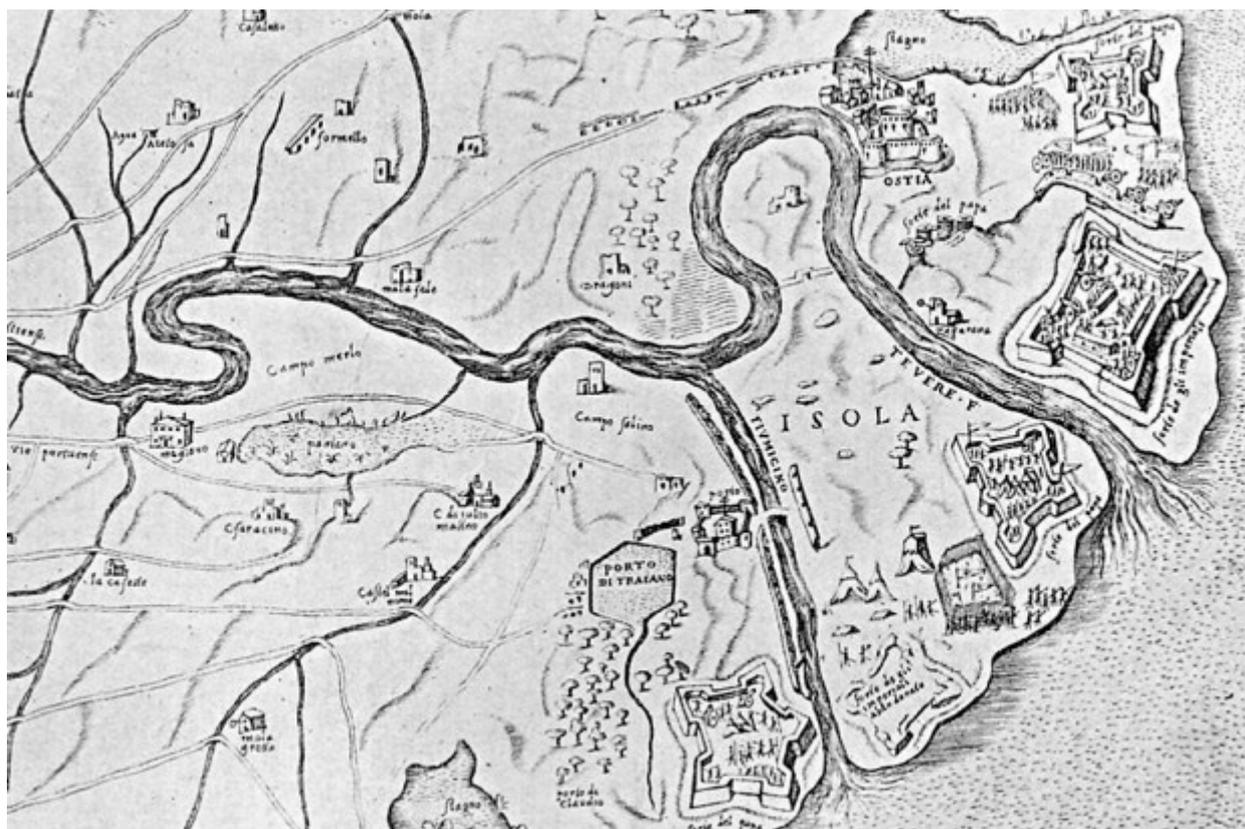
Inquadramento dell'area

L'area di interesse corrisponde all'isola, denominata Isola Sacra, compresa tra i due rami fociali del Tevere: il Porto Canale di Fiumicino a Nord e Fiumara Grande a Sud.

Isola Sacra, sorta presso la foce del Tevere a seguito dell'apporto di materiali fluviali e del prolungamento della Fossa Traiana, un canale navigabile scavato nel I sec d.C. per collegare il fiume al porto imperiale di Traiano, è un'isola artificiale che copre una superficie di circa 12 kmq, con una morfologia pianeggiante le cui quote altimetriche a campagna sono comprese tra +2.00 m slm nelle zone più interne e +0.50 m slm nella fascia costiera.

Al tempo di Roma antica l'isola occupava circa i tre quarti della superficie attuale, raggiunta grazie all'apporto ulteriore dei materiali alluvionali depositati dal fiume Tevere. Fertile e coltivata produceva in passato varie specie di fiori e da questa specificità deriva l'antico appellativo *Libanum Almae Veneris*, "il giardino fiorito di Venere".

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	3 di 36	



Mappa di Isola Sacra, 1557

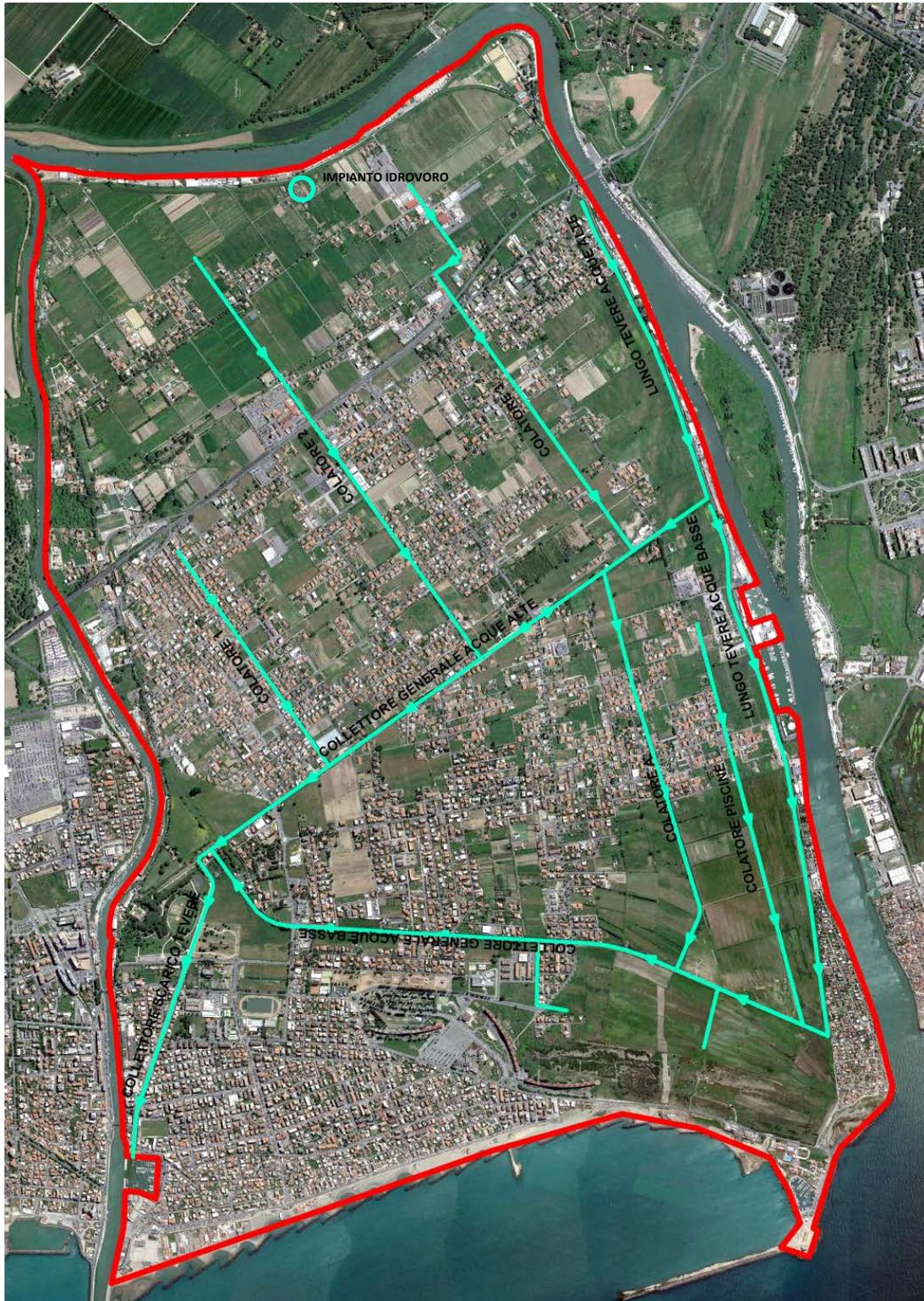
In età romana Isola Sacra si chiamava “*Insula Portus*” o “*Insula Portuensis*”. Mentre il nome attuale appare soltanto in epoca medievale in riferimento alla presenza della basilica del martire cristiano Sant’Ippolito e dell’area cimiteriale annessa, la Necropoli di Porto. Nel Medioevo tutta la zona divenne uno stagno malarico successivamente bonificato nel corso dell’ultimo secolo.

Il sistema idraulico dell’area di Isola Sacra, realizzato nella seconda metà del XIX secolo, rientra nel più ampio sistema idraulico di bonifica dell’area foce del Tevere. Tale sistema ha permesso di recuperare a fini agricoli i vasti territori pianeggianti costieri e sub-costieri. La vocazione prettamente agricola dell’area permane fino alla fine degli anni ’60, quando comincia la nascita della borgata costituita da lottizzazioni spontanee a bassa densità edilizia.

Il drenaggio delle acque, sia meteoriche che di falda, nella zona Nord Ovest dell’area è garantito da 3 canali colatori principali, indicati come Colatore1, Colatore2 e Colatore3 che adducono le acque al Canale Acque Alte. Il Canale Acque Alte scarica le portate in parte direttamente sull’impianto idrovoro di Isola Sacra, gestito dal Consorzio di Bonifica Tevere ed Agro romano, ed in parte nel Canale Acque Basse, mediante il Colatore A. Il canale delle acque basse, percorrendo le aree a ridosso della Foce del Tevere a Sud Ovest, allaga i vecchi canali reversibili di irrigazione (Colatore Piscine), risale verso nord a ridosso della fascia costiera e giunge all’impianto idrovoro di Isola Sacra in cui viene garantito il sollevamento delle acque e lo

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	4 di 36	

scarico delle stesse in un canale, parzialmente tombato, che esita all'interno della darsena del Porto Turistico di Fiumicino.



Inquadramento area Isola Sacra e reticolo idraulico principale

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	5 di 36	

Modello bidimensionale

La perimetrazione delle aree soggette ad allagamento potenzialmente in conseguenza ad un evento alluvionale con tempo di ritorno duecentennale è stata realizzata attraverso una simulazione numerica su modello bidimensionale.

Il dettaglio nella rappresentazione spazio-temporale dei processi così come la maggiore complessità dei fenomeni considerati determina, inevitabilmente, l'esigenza di più accurati dati di input, in particolare in termini di rappresentazione fisica e morfologica dell'area di studio, nonché tempi computazionali più lunghi per la simulazione dei processi. Il modello da utilizzare, ed in particolare il relativo schema geometrico, inteso come il numero di dimensioni spaziali in riferimento alle quali rappresentare i processi, deve essere scelto, già nella fase di impostazione dello studio, in funzione degli obiettivi e del tipo di informazioni richieste, dei dati conoscitivi disponibili e del livello di approfondimento da raggiungere nel simulare i fenomeni fisici.

Lo schema numerico più semplice è quello di tipo monodimensionale, che prevede la rappresentazione dell'alveo attraverso sezioni trasversali ed in cui tutte le grandezze idrauliche, calcolate in corrispondenza delle stesse sezioni, sono mediate sia nella direzione verticale sia in quella trasversale al deflusso, che avviene, conseguentemente, lungo un'unica, predeterminata, direzione. Tale schema, i cui tempi di calcolo risultano necessariamente contenuti a fronte del limitato numero di punti computazionali, risulta ampiamente adeguato ed affidabile solo ed esclusivamente qualora il deflusso presenti caratteristiche prevalentemente unidirezionali ma non permette nella simulazione dei fenomeni di piena, la differenziazione delle condizioni di deflusso tra alveo attivo e golene, né l'analisi della distribuzione dei deflussi in una rete ramificata di canali di flusso a pelo libero perché presenta gli evidenti limiti indotti dalle classiche modellazioni monodimensionali, in cui la variazione delle grandezze di interesse è descritta solo lungo un asse longitudinale e le aree allagate vengono definite dall'intersezione tra la quota della superficie libera e la topografia lungo ciascuna sezione.

Più completo è invece lo schema bidimensionale attraverso il quale, partendo da una rappresentazione della morfologia dell'alveo e dei piani golenali in due dimensioni, tipica di un modello digitale del terreno, è possibile simulare dettagliatamente il deflusso nelle due direzioni piane differenziando livello idrico, velocità e direzione della corrente in ogni punto del dominio di calcolo. Tale schema richiede necessariamente tempi computazionali più lunghi ed una rappresentazione dell'area interessata dal deflusso di dettaglio maggiore.

Per le finalità dello studio risulta quindi indispensabile l'approccio con modello bidimensionale che consente di superare i limiti intrinseci di una modellazione monodimensionale.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	6 di 36	

Per simulare l'evoluzione idrodinamica bidimensionale è stato adottato il software di modellazione **Mike 21** del **Danish Hydraulic Institute** che rappresenta uno dei migliori software attualmente disponibili ed è largamente utilizzato sia a livello scientifico che tecnico, da parte di enti pubblici e società private.

Il modello idrodinamico è stato implementato adottando una schematizzazione geometrica con griglia rettangolare uniforme su tutto il dominio, in cui vengono risolte le equazioni di continuità e di conservazione del momento usando uno schema implicito alle differenze finite.

Equazioni del modello

Il problema idraulico è stato rappresentato mediante le Equazioni delle Acque Basse: la principale approssimazione fatta nel considerare tali equazioni rispetto alla realtà fisica del fenomeno riguarda la distribuzione della pressione. Si considera infatti la distribuzione idrostatica della pressione, trascurando così gli effetti su di essa dell'accelerazione verticale delle singole particelle di fluido. Le altre semplificazioni che si assumono sono le seguenti:

- Il fluido è incomprimibile con massa specifica costante;
- La pendenza del fondo è piccola in maniera tale da considerare il tirante idrico h lungo l'asse verticale z al fondo;
- Gli sforzi tangenziali agenti al fondo, per la presenza dell'attrito, sono assunti uguali a quelli del moto uniforme per sui si applica la formula del calcolo della scabrezza di Manning

Le equazioni risultanti sono un sistema bidimensionale, dipendente dal tempo di equazioni non lineari differenziali di tipo iperbolico. In generale tali equazioni di basano sul Principio di Conservazione della Massa e della Quantità di moto lungo due direzioni spaziali.

Equazione di continuità

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = S$$

Equazione del momento in direzione x

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_a) = 0$$

Equazione del momento in direzione y

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	7 di 36	

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (\rho_a) = 0$$

dove:

$h(x,y,t)$ è il tirante idrico [m];

$\xi(x,y,t)$ è l'elevazione della superficie libera [m];

$p, q(x,y,t)$ sono le portate a metro lineare rispettivamente in direzione x e y [m^3/s m];

$C(x,y)$ è il coefficiente di scabrezza di Chezy [$m^{1/2}/s$];

g è l'accelerazione di gravità [m/s²];

$f(V)$ è il fattore di attrito del vento;

V, V_x, V_y sono la velocità del vento e le relative componenti in direzione x e y [m/s];

$\Omega(x,y)$ è il parametro di Coriolis [s^{-1}];

p_a è la pressione atmosferica [Kg/m²];

ρ_w è la densità dell'acqua [Kg/m³];

S, S_{ix}, S_{iy} sono le sorgenti di massa e di momenti in direzione x e y ;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ sono gli sforzi tangenziali effettivi;

Tali equazioni vengono risolte alle differenze finite mediante schemi di soluzione di tipo esplicito.

Dati di input del modello

Modello geometrico

Alla base del modello bidimensionale, al fine di simulare dettagliatamente il deflusso nelle due direzioni piane differenziando livello idrico, velocità e direzione della corrente in ogni punto del dominio di calcolo, è necessaria una rappresentazione della morfologia dell'alveo e dei piani golenali in due dimensioni; ovvero è importante definire uno *schema geometrico*, inteso come il numero di dimensioni spaziali in riferimento alle quali rappresentare i processi.

La discretizzazione dell'area di studio dipende dunque, dalla morfologia del territorio, dalla presenza di manufatti, dal dettaglio di rappresentazione del territorio, dai dati conoscitivi disponibili, dalla complessità e dimensione dell'alveo fluviale e dal livello di approfondimento da raggiungere nel simulare i fenomeni fisici. Nel caso specifico, considerando che l'area di studio è pianeggiante, caratterizzata da una significativa antropizzazione e che i canali sono sufficientemente stretti, si è scelto di adottare una griglia di calcolo a maglia 2 metri.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	8 di 36	

Il modello geometrico consiste nella rappresentazione schematica all'interno del software della superficie topografica reale, e riveste un ruolo fondamentale ai fini dell'ottenimento del risultato della simulazione, pertanto la sua definizione deve essere quanto più possibile accurata.

L'area di interesse, opportunamente contenuta all'interno di una più vasta area di modellazione, viene "ricostruita" attraverso una mesh che ne descrive l'andamento altimetrico e le principali informazioni utili ai fini della simulazione idraulica. La scelta della dimensione della maglia della griglia deve essere accurata, tenendo in considerazione diversi aspetti quali:

- l'estensione e la tipologia dell'area di studio,
- l'accuratezza della informazione topografica disponibile,
- la stabilità del modello
- il tempo di calcolo

Il principale dato di input al modello, è la cosiddetta batimetria, ovvero una rappresentazione bidimensionale in termini altimetrici dell'intero dominio di calcolo. Assume un ruolo fondamentale, l'acquisizione dei dati topografici necessari alla costruzione della batimetria stessa. Nel presente studio è stato fatto ricorso al rilievo Lidar fornito, a seguito di specifica richiesta, dal *Ministero del Ambiente – Ufficio Speciale per il Telerilevamento*.

Il Lidar è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad un'elevata risoluzione. Ciò che si ottiene con un rilievo Lidar è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche, alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I). La nuvola dei punti laser contiene al suo interno informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti presenti. Poiché il laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, si procede ad una classificazione del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenenti al suolo dagli impulsi classificabili come superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, etc. Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie, mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un *Modello Digitale del Terreno (DTM)*.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	9 di 36	

Il rilievo lidar fornisce, dunque, un nuovo strato informativo potenziando le conoscenze di base al fine di effettuare simulazioni sulla propagazione dell'onda di piena nelle due direzioni in maniera sufficientemente accurata, in mancanza di un rilievo topografico di dettaglio.

Nel contempo, il DTM che si ottiene dal rilievo Lidar, impiegato per la definizione della batimetria, può includere errori che devono essere rimossi al fine di ottenere risultati quanto più possibile accurati e inerenti all'area di studio. Stante ciò è stata eseguita una pulizia dei dati confrontando il rilievo lidar con lo stato dei luoghi rilevato a seguito di apposita campagna di rilievo topografico e acquisizione di documentazione e cartografia presso gli Uffici Tecnici del comune di Fiumicino.

Nei casi in cui il Lidar presenta zone ribassate non corrispondenti alla realtà fisica, dovute ad errori di estrapolazione dei dati originali, è stata eseguita un'interpolazione con i valori delle celle adiacenti al fine di rimuovere tali zone. In secondo luogo è stata effettuata un'attenta analisi sul reticolo principale e secondario presente sull'intera area per individuare possibili interruzioni al deflusso dell'acqua, ad esempio ponti o rilevati stradali che in questa prima fase del lavoro si è scelto di non simulare e che verranno modellati in maniera opportuna in un modello accoppiato integrato monodimensionale – bidimensionale in corso di elaborazione su software **Mike FLOOD** della **DHI**.

Condizioni al contorno

Successivamente si devono definire delle condizioni al contorno sufficientemente a distanza dall'area di interesse per evitare che quest'ultima possa essere condizionata da una scelta non ottimale delle condizioni al contorno, che devono in ogni caso essere imposte in zone di cui si ha una buona conoscenza delle caratteristiche del deflusso ed evitando brusche variazioni.

Le condizioni al contorno possono essere definite tramite il valore del livello idrico oppure della portata scambiata con l'esterno, in entrambi i casi tale valore può essere posto costante o variabile nel tempo.

Nello specifico le condizioni vengono definite in termini di tirante costante: sono state pertanto individuate quattro zone, sufficientemente lontane dall'area di interesse della simulazione, lungo il contorno della griglia di calcolo in cui è stato assegnato un livello idrometrico tale che durante la simulazione le celle in prossimità delle condizioni al contorno risultino sempre bagnate.

Condizioni iniziali

La soluzione delle equazioni necessita delle condizioni iniziali del livello idrico in tutta l'area, nel rispetto di quanto imposto nelle condizioni al contorno. Ovvero le due condizioni devono risultare tra loro compatibili. Si sono definite condizioni di tirante nullo, avendo già fatto l'ipotesi cautelativa che la pioggia efficace sia pari alla pioggia netta demandando l'effetto di infiltrazione alla valutazione locale.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	10 di 36	

Impianto Idrovaro di Isola Sacra

L'impianto idrovaro di Isola Sacra, gestito dal Consorzio di Bonifica Tevere ed Agro Romano, è stato considerato all'interno del modello computazionale per mezzo di un "pozzo" con una capacità di smaltimento della portata pari a $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$, pari al valore reale così come comunicato dall'ente gestore.

Coefficiente di viscosità

Un parametro idrodinamico, caratterizzante il risultato delle simulazioni è l'*eddy viscosity*, il cui valore, in ambito fluviale viene generalmente mantenuto costante per attenuare o meno alcuni fenomeni fisici, ovvero la turbolenza del flusso d'acqua; Il suo valore è quindi importante in quanto descrive il profilo di velocità del flusso turbolento. Generalmente vengono indicati dei valori guida che dipendono dalla dimensione della maglia della griglia di calcolo:

Dx	Range
0-1 m grid	0-0.1 m^2/s (~0.05)
1-10 m grid	0.1-5 m^2/s (~1)
10-100 m grid	1-10 m^2/s (~5)
100-1000 m grid	10-100 m^2/s (~20)

La griglia di calcolo utilizzata presenta una maglia quadrata di lato 2 metri, per cui è stato scelto un coefficiente di viscosità di $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$

Scabrezza

La scabrezza idraulica rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo per attrito da scorrimento sul fondo e sulle sponde dei canali di deflusso.

La definizione ottimale del coefficiente richiede accurate analisi in quanto la scabrezza intrinseca non è l'unica causa della resistenza al moto; la difficile determinazione di un coefficiente globale può dipendere da diversi fattori, quali:

- vegetazione in termini di altezza, densità, distribuzione e tipologia delle formazioni arbustive e arboree
- forme di fondo e variazioni di forma indotte dagli allargamenti e restringimenti delle sezioni
- ostruzioni, quali, alberi, pile di ponti, sbarramenti, edifici, ecc.
- irregolarità dell'andamento planimetrico e delle sue caratteristiche fisiche

Valori medi del coefficiente di scabrezza sono suggeriti su diverse pubblicazioni nella letteratura specializzata; nel presente studio la resistenza al moto generata dall'attrito con il suolo è stata definita

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	11 di 36	

attraverso il coefficiente di Manning ($M = 1/n$), assegnando un valore costante su tutta l'area, pari $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo le indicazioni riportate dal V.T.Chow.

Infiltrazione

Sono state condotte delle prove atte alla misura in campo del coefficiente di permeabilità del suolo mediante Prova Lefranc, che consente di ottenere una stima quantitativa del coefficiente di permeabilità del terreno. Durante la prova, effettuata a carico variabile, è misurata la velocità di riequilibrio del livello idrico dopo averlo alterato mediante immissione fino a piano campagna di acqua in foro. La prova consiste nell'eseguire alcune letture di livello dell'acqua in foro (h) a frequenti intervalli di tempo (t) annotando sia il livello dell'acqua sia il tempo di ciascuna lettura



I suoli, costituiti da miscele di sabbia e limi, hanno restituito i seguenti valori locali:

N° campione	k [10⁻⁶ m/s]
1	1.98
2	3.42
3	2.98
4	2.84

Modello idrologico

L'applicazione di metodi idrologici tradizionali di carattere empirico o comunque spazialmente aggregato porta ad una eccessiva semplificazione dell'insieme dei processi fisici che intervengono nel ciclo idrologico. Molti studi hanno messo in luce come una impostazione di tipo distribuito, basata sulla descrizione dei processi ad una scala spaziale di maggior dettaglio, sia in grado di offrire, dei risultati migliori. Una modellazione distribuita del processo afflussi-deflussi, mediante la suddivisione del bacino idrografico in

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	12 di 36	

celle elementari, risulta quindi più accurata rispetto ad una trattazione aggregata del problema, in quanto dei parametri medi non sono in grado di descrivere la variabilità spaziale di fenomeni non lineari. **L'utilizzo di un modello distribuito consente invece una descrizione accurata delle caratteristiche idrologiche del bacino idrografico, permettendo di conservare l'informazione spaziale di variabili come: precipitazione, caratteristiche del suolo e della vegetazione, a maggior ragione per le caratteristiche specifiche del bacino in esame privo di pendenze tali da consentire una modellazione mediante idrogrammi.**

Al fine di individuare i deflussi si ha bisogno dei valori di precipitazione. I dati sono stati resi disponibili dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Roma a seguito di richiesta dei dati registrati dai pluviometri (ex SIMN-Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) per le stazioni pluviometriche:

- FREGENE ACEA
- MACCARESE (ARRONE)
- ROMA AURELIO ACEA
- ROMA SUD ACEA
- PONTE GALERIA ACEA
- FIUMICINO ACEA
- ACILIA ACEA
- OSTIA ACEA

Nello studio per l'analisi di allagamento, e successiva perimetrazione delle aree potenzialmente a rischio risulta di fondamentale importanza definire i seguenti elementi che concorrono alla determinazione dell'evento di piena di progetto:

- La precipitazione;
- La probabilità dell'evento;
- La durata dell'evento in riferimento al tempo di risposta del bacino di riferimento.

Per definire le precipitazioni di progetto per i vari tempi di ritorno si è fatto riferimento al Progetto VAPI, sviluppato presso l'Università degli Studi Roma Tre (Calenda e Cosentino, 1996) per la regionalizzazione di un'ampia zona dell'Italia Centrale, tra il promontorio di Piombino e la foce del Garigliano. Il progetto VAPI ha suddiviso l'intero territorio nazionale ed ha sviluppato la procedura per il calcolo della precipitazione sotto tre livelli di regionalizzazione. Questo progetto consente di selezionare i parametri statistici della precipitazione in una zona precisa dell'Italia, compresa nel territorio analizzato dal progetto VAPI; nello specifico la zona oggetto di studio ricade nella zona A4.

La distribuzione di probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliera, h_d , è espressa nella forma:

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	13 di 36	

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1} e^{-\left(\frac{h_d}{\mu_{hd}}\right)^\beta} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\left(\frac{h_d}{\theta_* \mu_{hd}}\right)^\beta}$$

dove μ_{hd} indica il valore medio delle massime altezze giornaliere, Λ_* e Θ_* sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione, Λ_1 è un parametro che insieme ai due precedenti determina il coefficiente di variazione, e β è una funzione dei tre precedenti parametri.

Al primo livello di regionalizzazione si è dovuta respingere l'ipotesi di un'unica regione omogenea rispetto al coefficiente d'asimmetria, che non è risultata accettabile. Il territorio è stato quindi suddiviso in tre regioni omogenee, definite:

- *zona A* (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- *zona B* (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propaggini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- *zona C* (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

I valori regionali dei parametri Λ_* e Θ_* , sono riportati nella tabella seguente.

regione	Λ_*	Θ_*
A	0,174	3,490
B	0,762	1,241
C	0,795	2,402

Tab. 1 Parametri primo livello di regionalizzazione Λ_* , Θ_*

Al secondo livello di regionalizzazione sono state considerate le stesse tre regioni individuate al primo livello. L'ipotesi che ciascuna fosse omogenea anche rispetto al coefficiente di variazione è risultata accettabile. I valori regionali dei parametri Λ_1 e β sono riportati nella tabella seguente.

regione = zona	A	B	C
Λ_1	29,314	22,017	27,806
β	4,480	4,359	5,301

Tab. 2 Parametri secondo livello di regionalizzazione Λ_1 , β

Al terzo livello di regionalizzazione sono state individuate delle zone omogenee in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera μ_{hd} , che prende il nome di pioggia indice, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	14 di 36	

$$\mu_{hd} = cz + d$$

I parametri c e d non assumono unico valore per l'intera regione esaminata: è stato invece possibile identificare delle aree pluviometriche omogenee (APO), in ognuna delle quali se ne può ottenere una stima univoca. Sono state individuate 78 APO, in cui i parametri della regressione assumono valori diversi.

Per l'elaborazione delle precipitazioni si è adottata la legge IDF (intensità – durata – frequenza) a tre parametri:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b + t)^m}$$

dove:

-T è il tempo di ritorno;

-t è la durata della pioggia critica;

-b è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t, sia dal tempo di ritorno T;

-m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;

-a(T) è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La regionalizzazione delle piogge VAPI all'area di intervento è stata effettuata elaborando i dati forniti dalle stazioni pluviometriche situate nella sottozona omogenea A4 (Fregene, Roma Sud, Ponte Galeria, Fiumicino, Massimina, Acilia, Ostia).

I valori dei parametri utilizzati sono:

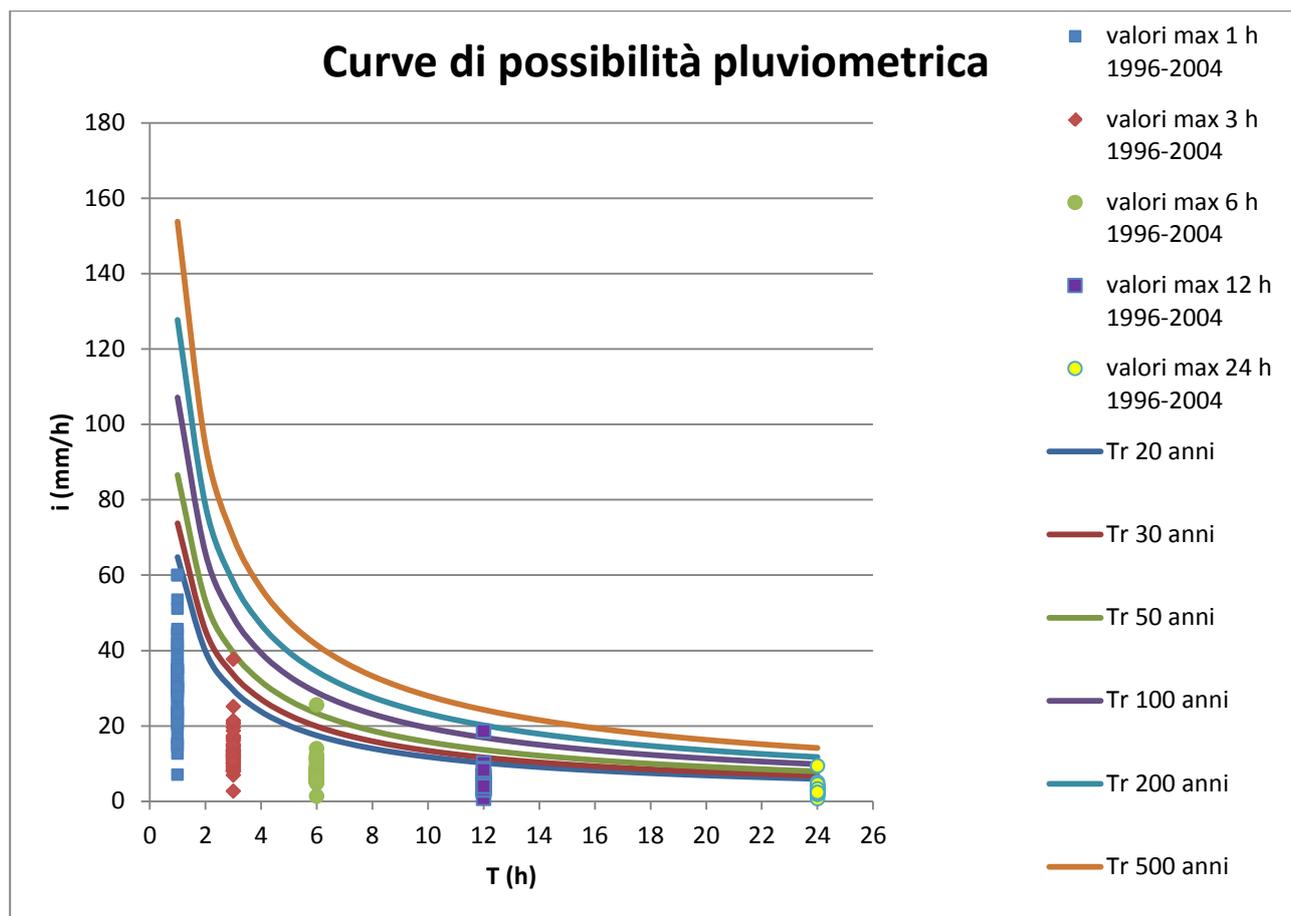
Λ^*	0.174	primo livello A4
Θ^*	3.49	
Λ_I	29.314	secondo livello A4
β	4.48	
c	0.0339	parametri regressione media quota
d	67.67	
b	0.1705	parametri regionali IDF

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	15 di 36	

m	0.7881
μ_{i0}/μ_{i24}	49.62

Tab. 3 parametri di primo, secondo, terzo livello di regionalizzazione sottozona A4

Sono state calcolate così le curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno i i cui parametri (a(T); b e m) verranno utilizzati per definire la pioggia di progetto.



Nell'immagine precedente sono visibili i valori misurati dai pluviometri in occasione degli eventi meteorologici degli ultimi anni.

Definizione Ietogramma di progetto

A partire dalle informazioni pluviometriche regionalizzate, è stato definito lo ietogramma di progetto generato sinteticamente con l'obiettivo di pervenire alla verifica del reticolo dei canali che caratterizzano

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	16 di 36	

l'area di studio e la conseguente analisi degli allagamenti in un modello bidimensionale. Allo ietogramma di progetto deve essere assegnato un tempo di ritorno. Le analisi sono state svolte con tempi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni e ricorrendo ad uno ietogramma rettangolare; ovvero l'andamento temporale dell'intensità di pioggia sarà mantenuto costante in tutta la sua durata (relazione intensità-durata-frequenza). Lo ietogramma rettangolare è stato preferito rispetto allo ietogramma Chicago, dopo aver valutato i risultati della simulazione utilizzandoli entrambi per i vari tempi di ritorno ed essendone evidente la assoluta equivalenza in termini di aree allagate, a seguito della considerazione che l'obiettivo dello studio consiste nell'analisi della capacità di drenaggio e trasporto della rete dei canali esistenti in occasione di eventi metereologici di particolare intensità.

Per la definizione dello ietogramma è necessario specificare la durata dell'evento. Normalmente si conducono vari tentativi con durate differenti, fino ad individuare quella che dà luogo al massimo valore della grandezza di interesse. Tale durata prende il nome di "durata critica". Nel presente studio è stata eseguita un'analisi della durata critica dell'evento studiando nel dettaglio il reticolo dei canali e prendendo come tempo critico il tempo di rete che manda in crisi il sistema di drenaggio; ovvero è stato studiato il tempo di corrivazione t_c inteso come il tempo impiegato da una goccia d'acqua, che parte da un punto del bacino, per raggiungere la sezione di chiusura percorrendo i canali di drenaggio.

In questa fase preliminare, l'area di interesse è stata considerata come un unico grande bacino racchiuso tra i due rami del fiume Tevere e sezione di chiusura rappresentata dalla vasca dell'impianto idrovoro. È stata così individuata l'area del bacino (circa 12 Km²), e definito, in base all'analisi della morfologia dei luoghi, studiando la quota massima e la quota minima di ogni tronco considerato, ciascuno con la lunghezza corrispondente, il percorso critico: individuati diversi percorsi, è stato scelto quello che restituisce un tempo maggiore, ovvero quel tempo che presumibilmente manda in crisi il sistema. Il percorso critico corrisponde al tratto comprendente il colatore 3, il colatore A e il canale delle acque basse per terminare sull'impianto idrovoro; la lunghezza complessiva risulta essere 7.135 Km con pendenze variabili tra 0.3‰ e 0.7‰ per mille.

Il tempo è stato stimato ricorrendo alla relazione che mette a confronto diverse formule di calcolo del tempo di corrivazione (Kirpich, Pezzoli, Watt, Chow):

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8}$$

Dove:

- L lunghezza del tratto [m]

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	17 di 36	

- i_a pendenza

Complessivamente il tempo risultante dalla somma dei diversi tronchi è dell'ordine delle 12 ore, valore assunto come durata critica dell'evento, con cui viene determinata l'intensità di pioggia di progetto per i vari tempi di ritorno.

Simulazione evento reale 31 gennaio - 3 febbraio 2014

Il modello bidimensionale, utilizzato per effettuare un'analisi preliminare sulle aree di allagamento, è caratterizzato da diverse variabili idrologiche con un margine di incertezza piuttosto ampio. Stante ciò si è provveduto a calibrare il modello computazionale per garantire una maggior robustezza ai risultati ottenuti, in particolare nelle zone che risultano essere critiche, effettuando una simulazione dell'evento pluviometrico registrato nei giorni 31 gennaio-3 febbraio 2014, con tempo di ritorno stimato tra i 20 e i 30 anni, che ha provocato effetti al suolo importanti su determinate zone dell'area di studio come si evince nell'immagine seguente e nel rapporto di evento in cui vengono riportate delle mappe di allagamento utilizzabili anche ai fini di un confronto tra i risultati ricavati dalle simulazioni software e la localizzazione delle aree allagate individuate dal satellite Cosmo SkyMed.



1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	18 di 36	

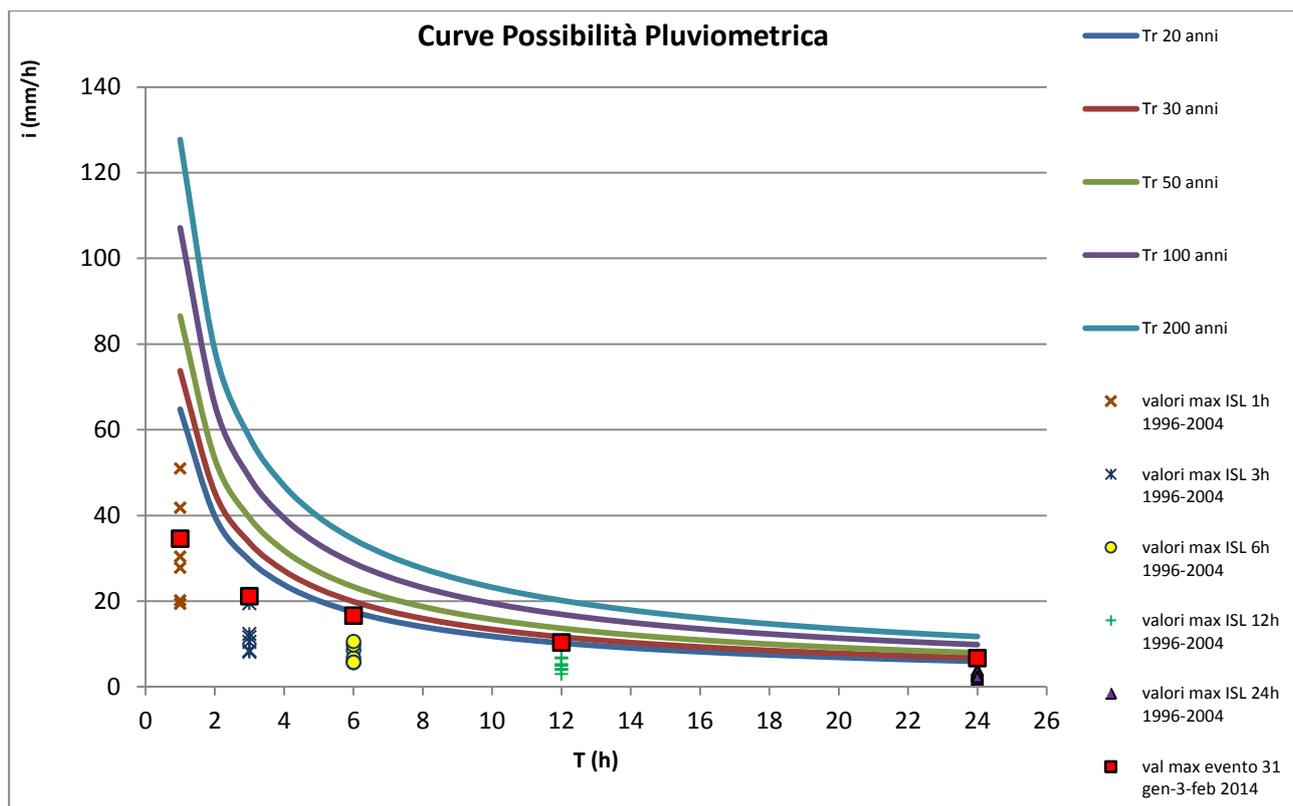


Di seguito si riportano le altezze di pioggia massime cumulate sulle finestre temporali di 0.5, 1, 3, 6, 12, 24, 36, 48 ore, registrate dalla rete in telemisura del Centro Funzionale Regionale nel periodo considerato:

Stazione	Altezze di pioggia massime (mm)							
	0.5 h	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
Frascati	6.4	11.8	18.5	30.5	47.1	69.4	77.4	81.6
Fregene	6	10.6	24	40.2	70	89.8	92.6	99
Frosinone	6.3	12.4	21.6	24.2	30.6	57.7	70.8	87.8
Gaeta	3.4	6.4	10.2	12.8	15.6	19.2	22.8	26.8
Giuliano di Roma	5	6.8	12.8	14.2	18.2	23.2	31	31.4
Guadamello	3.8	6.6	16.8	27.8	44.2	68.4	73.8	80.8
Guidonia	3	4.8	12.6	21.2	26.6	31.2	39.4	47.2
Iscchia di Castro	5.5	7.1	14.9	18	32.6	46.2	54.2	75.9
Isola Sacra	24.4	34.6	63.4	99.8	124.6	161.6	163	166.2
Itri	2.6	5.2	9	12.6	18.6	29.2	32	35.8
La Storta	21.6	33.2	68.6	117.2	143.2	179.8	186	188.6
Ladispoli	13.6	23.6	29.8	43.6	67.4	99.4	109.8	113.8
Lago di Albano	8	15.8	22	35.8	61.2	84.6	90.4	96.6
Lago di Corbara	4	7.8	20.6	30.6	58.4	70.6	76.6	92.5
Lago di Nemi	11	20.4	30	44.2	72.2	101.2	112.8	116.8
Lanuvio	7.4	14.4	18.2	31.2	50.8	65	69.2	71.8
Latina	5	8.7	13.1	23.7	35.7	45.9	52.7	52.7
Lenola	2.8	4.2	7.2	12.8	20.4	30.4	33.4	38.4
Leonessa	3.6	6.6	16.2	22.6	29	35.6	50.9	56.9
Licenza	2.8	4.6	11.8	17	23.4	29.4	33.6	44.6
Liri a Ceprano	5.6	9.8	19.7	29.1	43.7	52.9	64.7	68.9
Liri a Civitella Roveto	4.9	7.5	15.9	24.5	37.9	49.5	66.3	71.5
Liri a Pontecorvo	7.1	11.8	15.2	26.3	39.7	56.5	77.1	87.9
Lugnano	2.6	4	8.8	14.4	19	26.8	30.6	37.2
Maccarese	16.2	19.4	32.6	53.6	89.4	127.6	130	132.4
Mandrione	10.3	12.1	13.9	22	39.6	51.6	54.8	71.9
Manziana	21.9	25.4	29.3	45.9	77.1	117.9	131.4	142

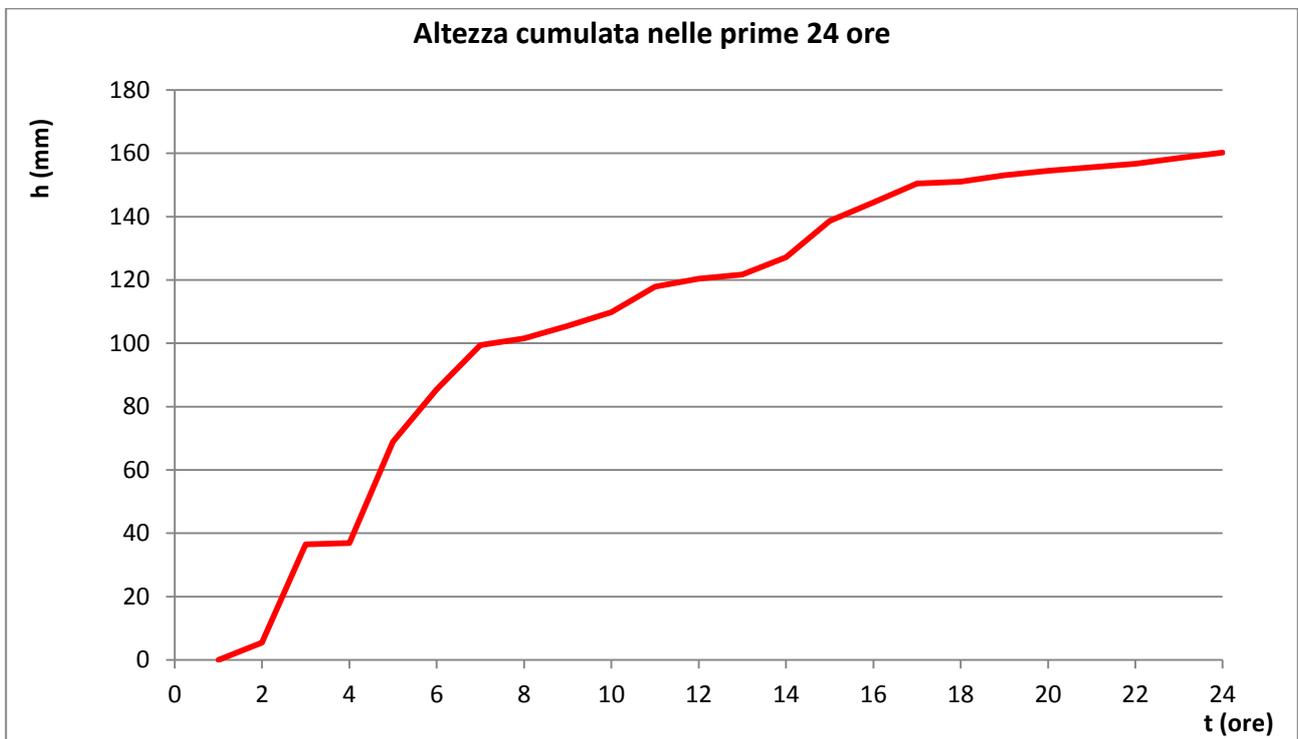
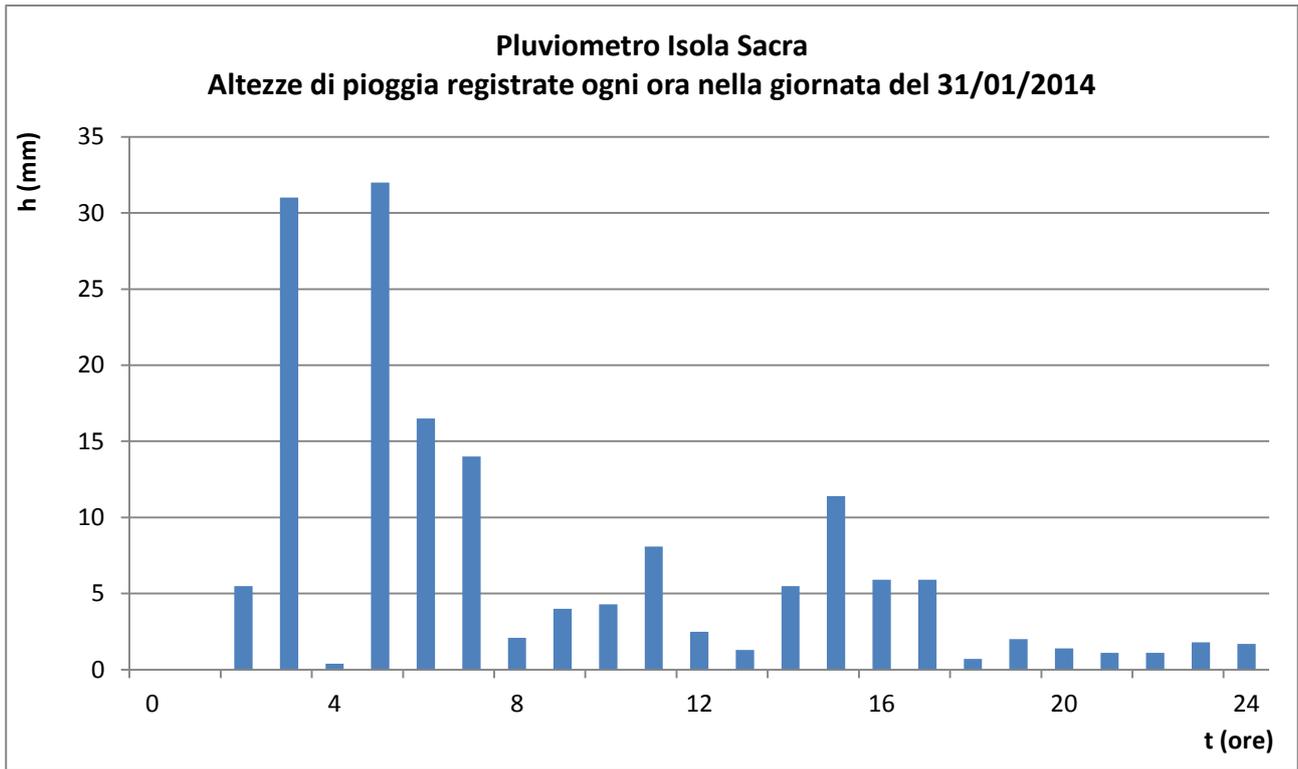
1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	19 di 36	

E' stata effettuata un'analisi sui tempi di ritorno elaborando i dati pluviometrici secondo le indicazioni dello studio VAPI, tramite il quale sono state ricavate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per la stazione di Isola Sacra. E' emerso che i tempi di ritorno T_r stimati per le precipitazioni con cumulate di durata da 6 fino a 24 ore hanno toccato dei valori tra i 20 e i 30 anni. Di seguito si riportano le curve di possibilità pluviometrica in cui vengono inserite le intensità di pioggia registrate tra il 1996-2004 e le intensità dell'evento pluviometrico qui considerato

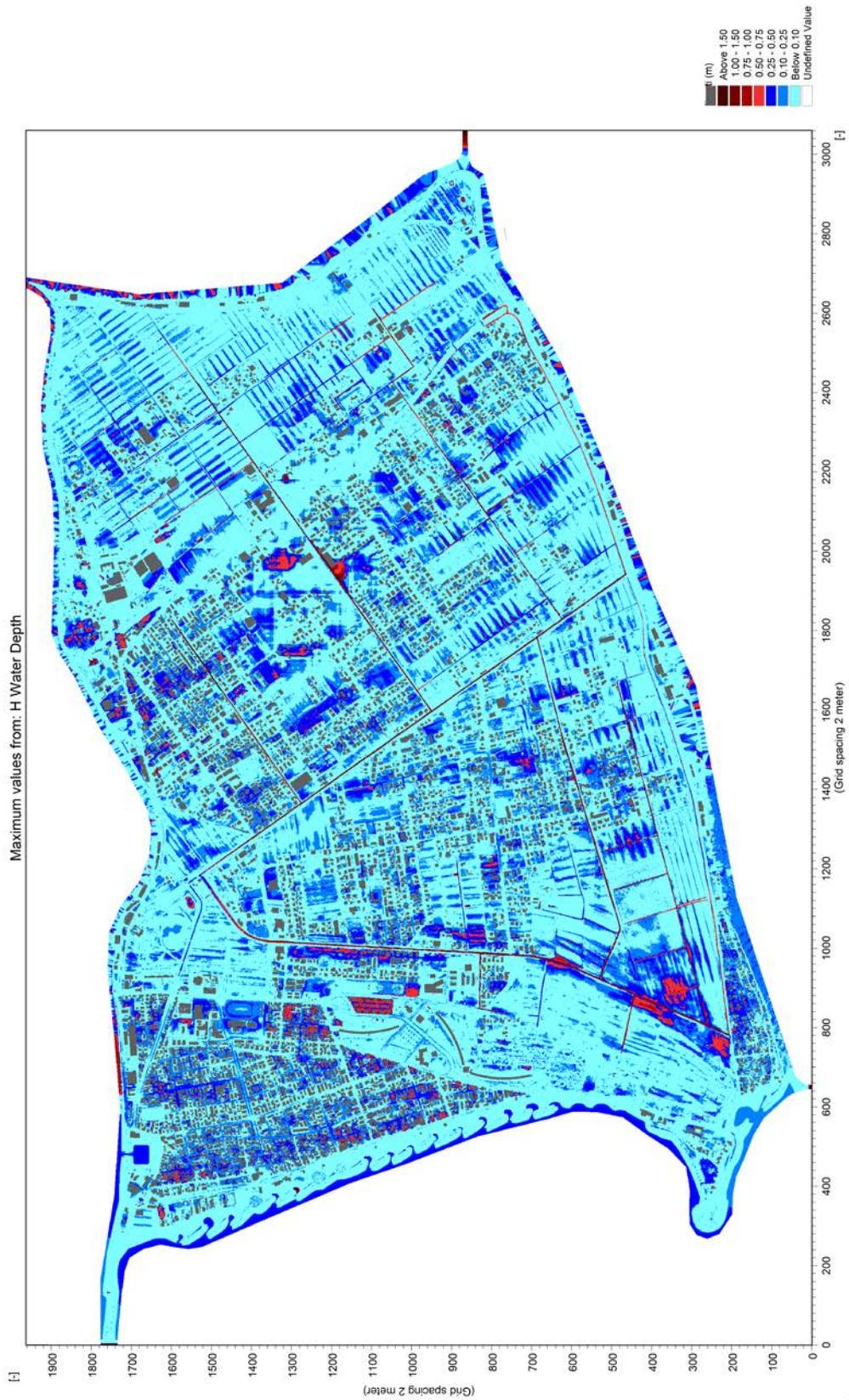


In una fase successiva è stato ricostruito l'evento pluviometrico andando a definire il diagramma di pioggia da utilizzare come input di precipitazione al modello bidimensionale; per poi effettuare un confronto tra le immagini satellitari corrispondenti a qualche giorno dopo la fine dell'evento e i risultati ottenuti dalla simulazione in cui vengono riportati gli effetti delle prime 24 ore di pioggia dove sono stati raggiunti quantitativi precipitati molto elevati, provocando allagamenti su specifiche zone che risultano essere critiche già per eventi di pericolosità bassa.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	20 di 36	



Di seguito si riportano i risultati in termini di aree allagate.



Inviluppo dei massimi tiranti: evento pluviometrico del 31-gen-2014

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	22 di 36	



Fig. Immagine satellitare acquisita il 4-feb-2014 (in rosso specchi d'acqua da verificare)

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	23 di 36	

Mettendo a confronto le mappe satellitari con i risultati della simulazione **si evidenzia che le aree risultate critiche dalla simulazione del modello bidimensionale, sono pienamente compatibili con quelle acquisite dalle immagini satellitari rispetto all'evento considerato e le ipotesi fatte risultano assolutamente cautelative, a garanzia dell'incolumità della popolazione.**

In particolare si nota una specifica zona critica che lo stesso modello bidimensionale mette in evidenza, ovvero la zona a sud-ovest dell'area di studio che risulta essere la parte più depressa, corrispondente alla palude denominata "Piscina del Principe" in cui si vanno ad accumulare quantitativi d'acqua importanti raggiungendo tiranti (dedotti dalla simulazione) maggiori di 0.5 metri anche per eventi con tempi di ritorno attorno ai 20 anni. E' utile osservare che è in corso di realizzazione il nuovo argine del Tevere sulle aree della Piscina del Principe e, nel corso della successiva progettazione, verranno valutati gli effetti benefici dell'argine in termini di attenuazione del volume di pioggia gravante sul sistema di drenaggio di Isola Sacra. La calibrazione dei risultati della simulazione con le aree allagate risultanti dall'evento, acquisite dalla costellazione satellitare Cosmo Sky Med, fornisce al modello geometrico e ai parametri idrodinamici assunti nella simulazione bidimensionale un grado di accuratezza accettabile per una perimetrazione preliminare delle aree di inondazione. Tale accuratezza consente di sviluppare le simulazioni preliminari riferite ad un eventi eccezionali con tempi di ritorno superiori e fino a 500 anni garantendo l'affidabilità del risultato e quindi del tematismo rappresentato dall'iniluppo dei massimi tiranti idrici che si instaurano in occasione di eventi metereologici eccezionali.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	24 di 36	

Simulazione eventi sintetici

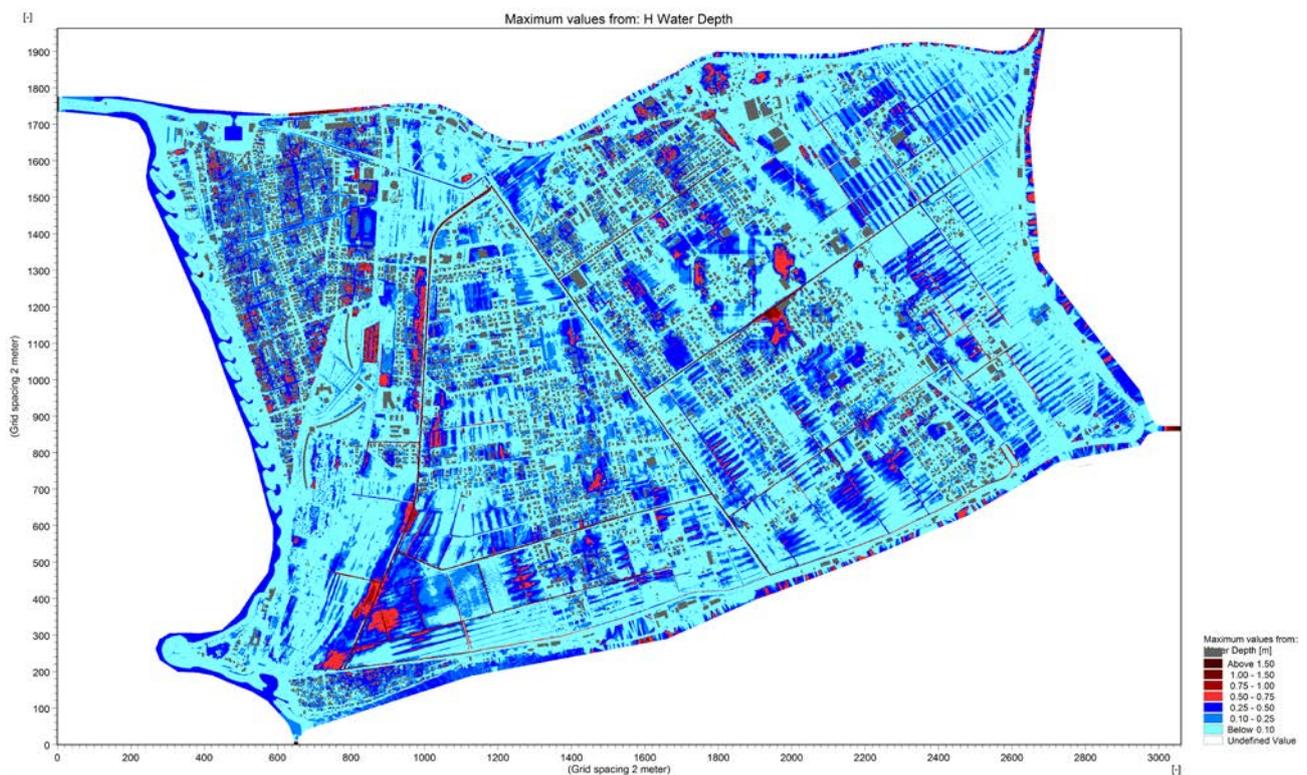
Sono stati simulati eventi metereologici con tempi di ritorno pari a:

- 50 anni
- 200 anni
- 500 anni

Al fine di determinare le aree soggette a soggiacenza e/o inondazione così come richiesto dal PAI della Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

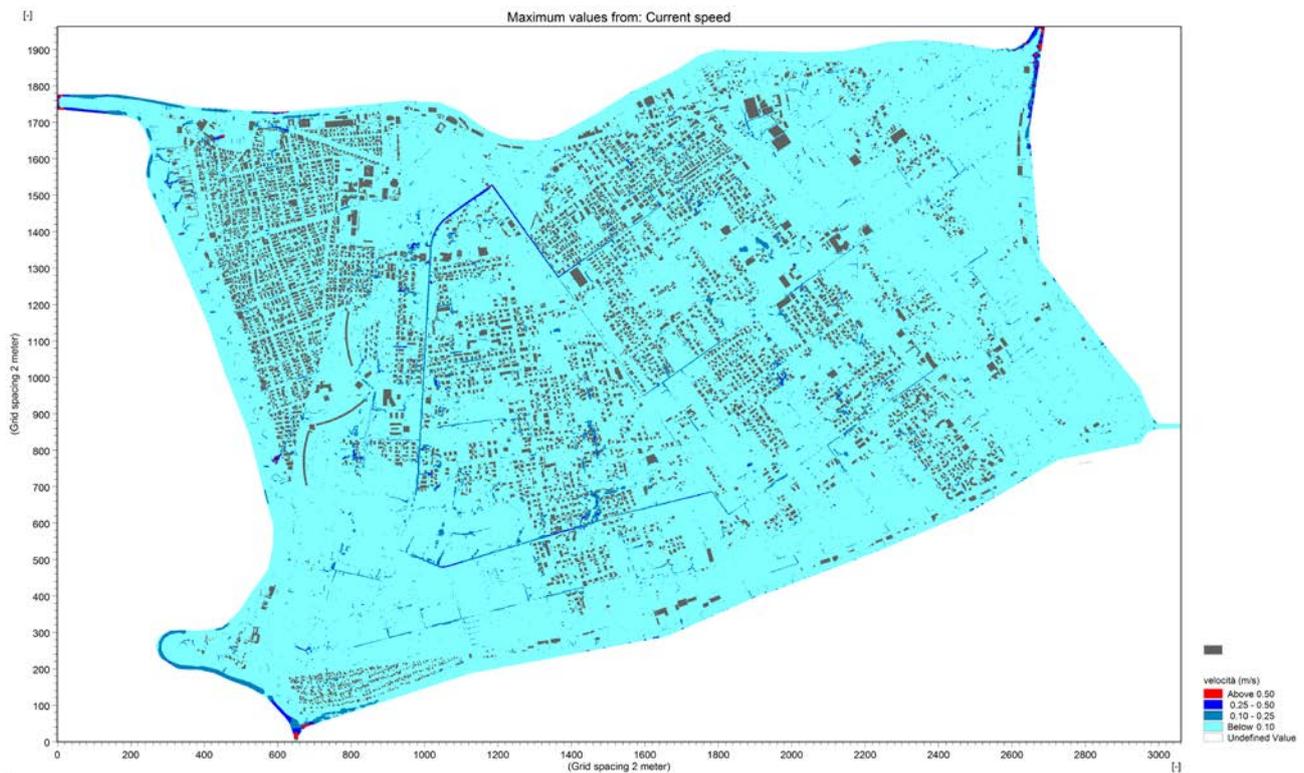
Risultati Tr=50 anni

I risultati della simulazione per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 50 anni sono riportati nelle figure seguenti, in cui sono visibili la carta rappresentativa dell'involuppo dei massimi tiranti idrici e la carta dell'involuppo delle massime velocità.



Involuppo del massimo tirante idrico Tr=50 anni

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	25 di 36	



Inviluppo della velocità massima Tr=50 anni

Come visibile dalle immagini le velocità che si instaurano non sono mai superiori a pochi centimetri al secondo tranne che all'interno dell'alveo dei canali di bonifica mentre, per quanto riguarda i tiranti idrici, si verificano casi di superamento della soglia di 0,5 m sul piano di campagna.

Sono visibili fenomeni localizzati di allagamento in corrispondenza delle aree il cui piano di campagna sia significativamente depresso. Un esempio è evidente nella foto seguente, che ritrae il complesso di via Caleri, un complesso abitativo edificato negli anni '70 in risposta all'emergenza abitativa.



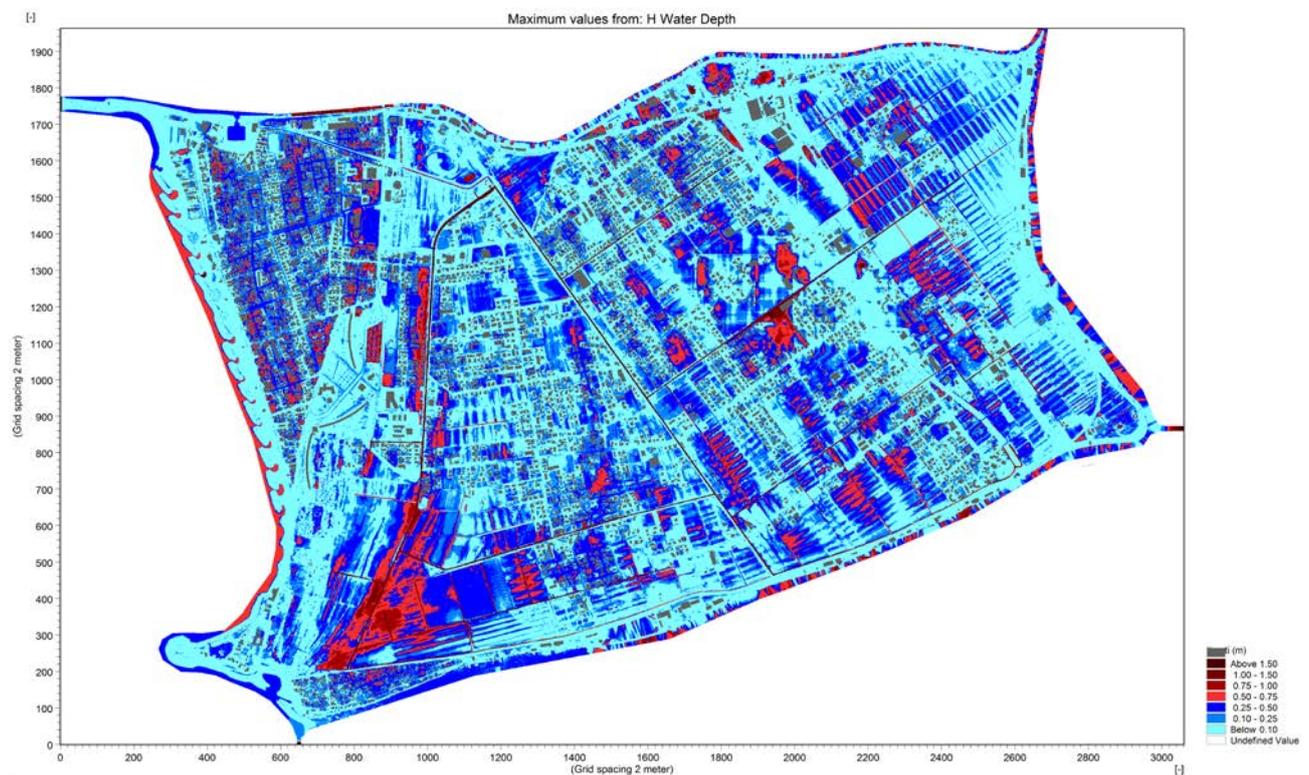
Come si può vedere le aree esterne sono ribassate rispetto al piano strada e sebbene l'ingresso agli edifici sia realizzato con gradini, dalla simulazione si evince come le aree condominiali siano soggiacenti.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	26 di 36	

Tale risultato suggerisce l'adozione di specifiche prescrizioni costruttive per le nuove iniziative edilizie su Isola Sacra.

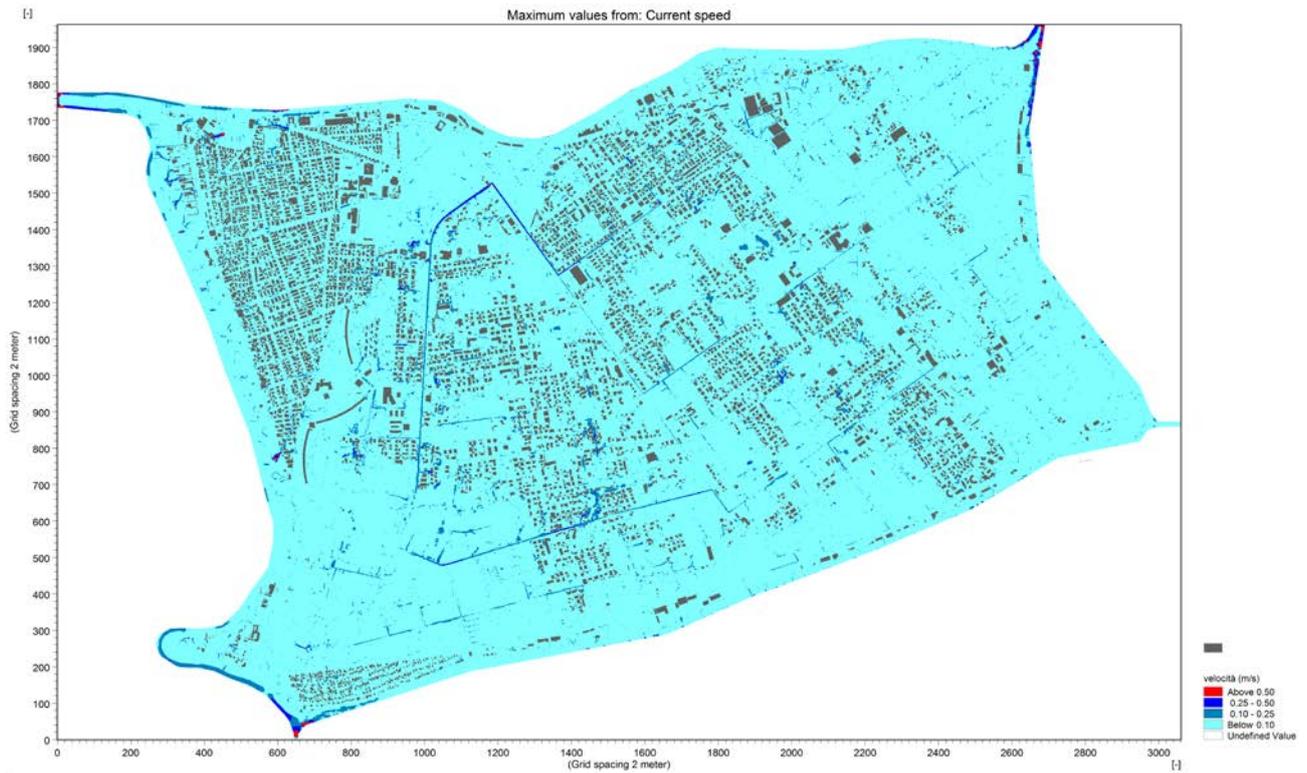
Risultati Tr=200 anni

I risultati della simulazione per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 200 anni sono riportati nelle figure seguenti, in cui sono visibili la carta rappresentativa dell'inviluppo dei massimi tiranti idrici e la carta dell'inviluppo delle massime velocità.



Inviluppo del massimo tirante idrico Tr=200 anni

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	27 di 36	



Inviluppo della velocità massima Tr=200 anni

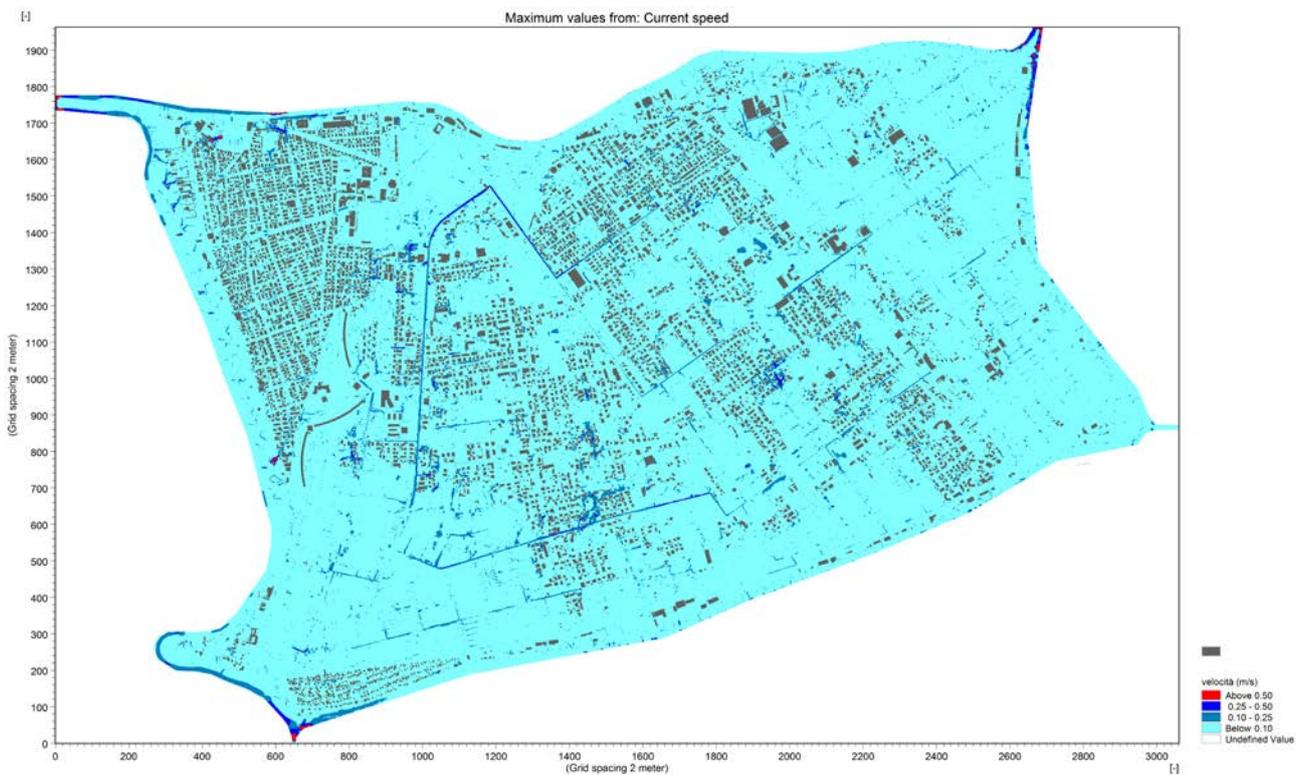
Risultati Tr=500 anni

I risultati della simulazione per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 500 anni sono riportati nelle figure seguenti, in cui sono visibili la carta rappresentativa dell'inviluppo dei massimi tiranti idrici e la carta dell'inviluppo delle massime velocità.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	28 di 36	



Inviluppo del massimo tirante idrico $T_r=500$ anni



Inviluppo della velocità massima $T_r=500$ anni

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	29 di 36	

Una necessaria precisazione che risulta evidente dalle analisi delle velocità e dei tiranti è che **le velocità che si instaurano nei canali sono una diretta conseguenza dell'impianto di pompaggio**: sebbene limitate a pochi centimetri al secondo, con tempi di vuotamento elevatissimi, **nel caso in cui l'impianto di sollevamento dovesse risultare fuori servizio, dopo un'iniziale livellamento della massa d'acqua in funzione della batimetria puntuale e conseguente formazione di un uniforme pelo libero, l'acqua nei canali sarebbe ferma.**

Dall'analisi delle immagini, e della evoluzione temporale degli allagamenti, si evince inoltre come **non si verifichi mai l'esondazione diretta dei canali sui sedimi adiacenti** poiché, tranne nelle aree di Piscina del Principe, gli argini dei canali risultano sempre "asciutti".

Sviluppo dell'attività di valutazione del rischio idraulico

Gli elementi rappresentativi della pericolosità di alluvione sono:

- estensione dell'inondazione
- altezza idrica o livello
- caratteristiche del deflusso

Tali elementi devono essere rappresentati per tre distinti scenari di piena:

- ✓ alluvioni rare di estrema intensità, con TR fino a 500 anni
- ✓ alluvioni poco frequenti, con TR compreso fra 100 e 200 anni
- ✓ alluvioni frequenti, con TR compreso fra 20 e 50 anni

La definizione del rischio fa riferimento alla nota relazione di Varnes: $R = P \times V \times K$

R: rischio espresso in termini di danno atteso riferito al costo sociale, di recupero e ristrutturazione dei beni materiali danneggiati dall'agente calamitoso;

P: pericolosità ovvero probabilità di accadimento dell'evento di una certa intensità;

V: valore esposto, quale identificazione del valore sociale, economico, di persone, beni ed infrastrutture che ricadono nell'area soggetta al fenomeno

K: vulnerabilità, quale percentuale del valore esposto che andrà perduto nel corso dell'evento.

Tuttavia, il DPCM 29 settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento in attuazione del D.L. 180/98), si riferisce alla formula di Varnes specificando che si dovrà far riferimento ad essa solo per la individuazione dei fattori che determinano il rischio senza porsi come obiettivo quello di giungere ad una valutazione di tipo strettamente quantitativo. Il DPCM definisce le seguenti quattro classi di rischio:

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	30 di 36	

- ✓ R4 rischio molto elevato per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche
- ✓ R3 rischio elevato per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
- ✓ R2 rischio medio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
- ✓ R1 rischio moderato per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.

Il concetto di probabilità, è definibile come una funzione dal tempo di ritorno $P=1/Tr$. Le simulazioni di propagazione della piena sono state condotte secondo tre diversi tempi di ritorno assegnati a cui corrispondono diverse portate. I tempi di ritorno e le portate stimate si assumono come valori convenzionali ed oggettivi tramite i quali si simulano gli eventi ed i risultati della modellazione idraulica definiscono la pericolosità su un'area indipendentemente dalle sue destinazioni d'uso.

Il valore del bene esposto dipende da numerosi parametri che, considerati nella loro globalità, lo esprimono quantitativamente. La vulnerabilità di un bene dipende dalla sua capacità di resistere all'evento calamitoso in relazione all'intensità di quello specifico evento. Per valutare quantitativamente la vulnerabilità è necessario dunque conoscere le caratteristiche strutturali, costruttive ed il livello di efficienza del bene nonché le caratteristiche dell'evento calamitoso ad esempio attraverso la velocità di propagazione dell'onda di piena oppure mediante l'altezza che raggiunge il tirante idrico in relazione ai diversi tempi di ritorno ed alla modellazione dei suoli. Il concetto di vulnerabilità di un bene come sopra definito, è estremamente puntuale e dipende da valori che, per la grande articolazione dei beni esposti individuata non sono determinabili se non in modo ipotetico; esso non è pertanto applicabile compiutamente alla scala dell'intero bacino idrografico. Ma nella impossibilità di valutare significativamente in termini economici tutte le diverse tipologie di beni esposti distribuiti all'interno delle fasce di esondazione nonché la loro vulnerabilità, il PAI ha assunto come elemento di valutazione del valore del bene e della sua vulnerabilità, la possibilità di perdita di vite umane in relazione alle specifiche destinazioni d'uso dei beni distribuiti sul territorio; la valutazione si articola in quattro gradi di sensibilità:

1. ME : Molto Elevata
2. E elevata
3. M Media

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	31 di 36	

4. B Bassa

La lettura degli usi del suolo effettuata attraverso l'interpretazione delle ortofoto digitali prodotte e la composizione del quadro della pianificazione comunale hanno consentito l'individuazione delle diverse tipologie di beni esposti. Tra dette tipologie sono state incluse, come si vede dalla tabella seguente, anche le aree gravate da previsione urbanistica in modo da poter avere una visione globale delle utilizzazioni dei suoli, anche quindi di quelle previste.

Tuttavia, dette aree, a differenza di quelle effettivamente edificate, non hanno dato luogo a perimetrazioni di aree a rischio così come sopra definite per due ordini di motivi: il primo riguarda la continua evoluzione della strumentazione urbanistica che rende il dato di partenza (la previsione urbanistica dello strumento comunale ad una certa data) troppo mutevole nel tempo e quindi inutilizzabile; il secondo motivo riguarda invece una scelta progettuale del Pai di regolamentare eventuali previsioni urbanistiche incompatibili con gli obiettivi del Pai, attraverso la disciplina adottata per le fasce A, B e C

BENE ESPOSTO	Codice	SENSIBILITÀ
Edificato continuo	Rc	ME (100)
Edificato discontinuo	Rd	ME (100)
Ospedali	Sh	ME (100)
Scuole	Si	ME (100)
Caseme	Sm	ME (100)
Edificato industriale commerciale artigianale	Pi	E (80)
Aeroporti	Sa	E (80)
Stazioni ferroviarie	Sf	E (80)
Aree per deposito e stoccaggio	Pd	E (80)
Protezione civile	Sp	E (80)
Impianti sportivi	Vs	E (80)
Depuratori	Td	M (50)
Discariche	Ts	M (50)
Centrali elettriche	Te	ME (100)
Cimiteri	Sc	B (20)
Verde attrezzato	Vp	B (20)
Seminativi irrigui	Ai	B (20)
Seminativi asciutti	Aa	B (20)
Colture orticole	At	B (20)
Vigneti	Av	B (20)
Oliveti	Ao	B (20)
Frutteti	Af	B (20)
Colture florivaistiche e serricoltura	Ac	B (20)
Colture specializzate	As	B (20)
Colture miste	Am	B (20)
Aree per impianti zootecnici	Az	B (20)
Impianti arborei lineari	Va	B (20)
Masse boscate	Vb	B (20)
Arbusteti e cespuglieti	Vc	B (20)
Prati pascolo	Vi	B (20)
Boschi ripariali	Vr	B (20)
Specchi d'acqua	Co	B (20)
Aree in trasformazione/costruzione	Rt	B (20)
Aree nude	An	B (20)
Cave ed impianti di lavorazione	Ca	B (20)

L'attribuzione delle classi di rischio come sopra definite è stata ulteriormente affinata dallo studio delle caratteristiche specifiche dell'evento calamitoso simulato dal modello idraulico. In particolare sono stati studiati, relativamente ad ogni sezione, la velocità e l'altezza del tirante idrico che hanno contribuito alla definizione di aree cosiddette marginali rispetto ai fenomeni di esondazione. In base alle considerazioni fatte, ed in particolare alla necessità di rispettare per ogni classe di eventi, il criterio dell'equi-probabilità

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	32 di 36	

nelle zone perimetrare da uno stesso tempo di ritorno, il territorio esaminato è stato sostanzialmente suddiviso in tre zone:

una prima area, contenuta all'interno del limite della piena con $Tr = 50$ anni;

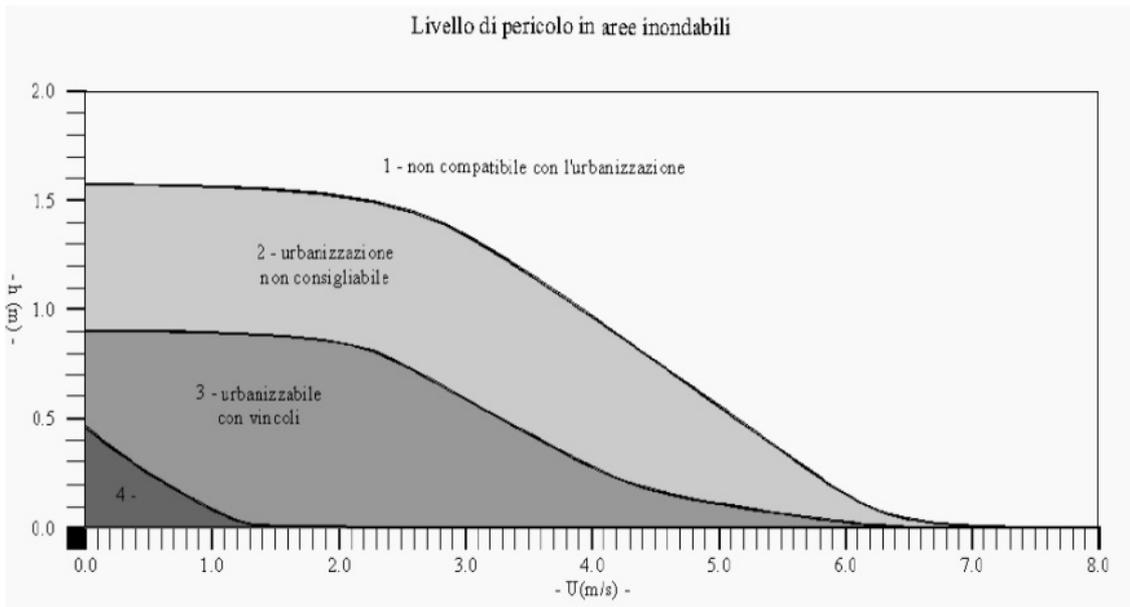
una seconda, compresa tra la linea precedente ed estesa fino al limite della piena con $Tr = 200$ anni;

una terza, compresa tra quest'ultimo limite e quello individuato dalla piena con $Tr = 500$ anni.

Per quanto detto, all'interno di ciascuna di queste strisce di territorio, ogni punto materiale è sottoposto ad un rischio idraulico con un ben definito livello di probabilità.

Ciò premesso, bisogna tuttavia notare che, rispetto alle condizioni di effettiva servitù idraulica a cui porzioni di territorio all'interno di una stessa area di pericolo si possono trovare, si verificano in generale delle notevoli differenze: prendendo ad esempio la zona intermedia definita dai limiti della $Tr = 50$ anni e $Tr = 200$ anni, vi sono delle zone limitrofe alla linea $Tr = 200$ anni in cui, al verificarsi dell'evento duecentennale, il livello dell'acqua sarà di pochi centimetri e, presumibilmente, anche le velocità della corrente assai ridotte; di contro; le zone vicine alla linea $Tr = 50$ anni, possono essere sottoposte a tiranti di qualche metro e velocità della corrente rilevanti. Il metodo utilizzato per "ritagliare" ai bordi delle aree definite dalla $Tr = 50$ anni e $Tr = 200$ anni delle zone marginali ai fini del rischio, è basato sulle risultanze di uno studio condotto dal Prof. Natale della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Pavia per conto della regione Lombardia, nell'ambito della redazione dei "Criteri di compatibilità idraulica delle proposte di uso delle aree a rischio idraulico". Sulla base di dati sperimentali sono state elaborate una serie di curve, nel piano $U - h$ cioè velocità – tirante, che rappresentano condizioni di ugual valore della spinta totale (idrostatica, funzione di h e dinamica, funzione di U) su elementi sottoposti all'azione di una corrente. Nella figura che segue sono riportate tutte le curve elaborate nello studio citato. La curva più bassa del diagramma definisce, in particolare, la regione n. 4 in cui le condizioni di rischio in termini di incolumità delle persone risultano accettabili anche per minori e disabili con accompagnamento. Questa metodologia, oltre ad assicurare un validità scientifica ed una affidabilità operativa alle operazioni di individuazione delle aree marginali, risulta in piena coerenza con il criterio informatore del P.A.I., descritto al paragrafo 6.5 b), che assume quale elemento per la valutazione del rischio, l'incolumità della vita umana. La pratica perimetrazione delle aree marginali è stata effettuata valutando, sezione per sezione, i valori di U e di h che il codice di calcolo Mike DHI fornisce, e confrontandoli con quelli della curva – limite del diagramma sotto riportato: si è assunta la presenza di una condizione di marginalità del rischio laddove il punto rappresentativo $P(U,h)$ ricadeva all'interno della zona di sicurezza per l'incolumità della vita umana.

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	33 di 36	



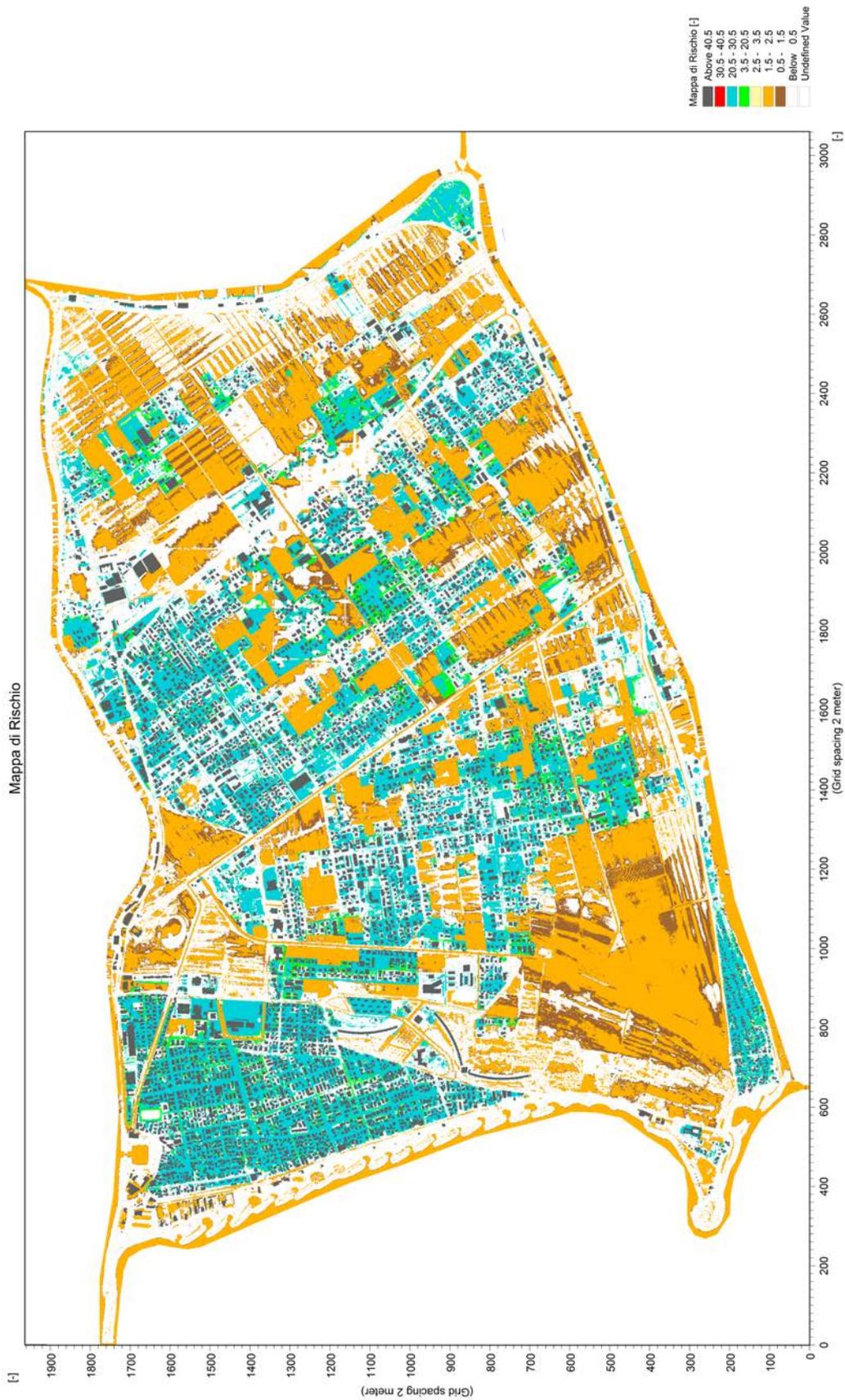
L'utilizzo congiunto dell'analisi di vulnerabilità e delle simulazioni idrauliche ha consentito di indicare la perimetrazione delle aree sottoposte a rischio secondo la seguente tabella:

1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	34 di 36	

TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE ATTRIBUZIONI DELLE CLASSI DI RISCHIO

BENE ESPOSTO	codice	sensibilita'	Tr 50 Dir.	Tr 50 Indir.	Tr 50 Marg.	Tr 200 Dir.	Tr 200 Indir.	Tr 200 Marg.	Tr 500 Dir.
Edificato continuo	Rc	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Edificato discontinuo	Rd	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Ospedali	Sh	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Scuole	Si	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Caserme	Sm	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Edificato industriale commerciale artigianale	Pi - Pi*	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Aeroporti	Sa	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Stazioni ferroviarie	Sf	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Aree per deposito e stoccaggio	Pd	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Protezione civile	Sp	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Impianti sportivi	Vs - Vs*	80	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Depuratori	Td	50	R3	R2	R2	R2	R2	R1EP	R1EP
Discariche	Ts - Ts*	50	R3	R2	R2	R2	R2	R1EP	R1EP
Centrali elettriche	Te	100	R4	R3	R3	R3	R3	R2	R2
Cimiteri	Sc	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Verde attrezzato	Vp	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Seminativi irrigui	Ai - Ai*	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Seminativi asciutti	Aa - Aa*	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Colture orticole	At - At* - Am/At	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Vigneti	Av	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Oliveti	Ao	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Frutteti	Af	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Colture florivaistiche e serricoltura	Ac	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Colture specializzate	As	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Colture miste	Am	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Aree per impianti zootecnici.	Az	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Impianti arborei lineari	Va	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Masse boscate	Vb - Vb*	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Arbusteti e cespuglieti	Vc - Vc* - Vc/Rt	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Prati pascolo	Vl - Vl* - Vl/Ca	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Boschi ripariali	Vr	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Specchi d'acqua	Co - co	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Aree in trasformazione/costruzione	Rt - Rt* - RIVs	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Aree nude	An - An*	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP
Cave ed impianti di lavorazione	Ca - Ca*	20	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP	R1EP

I risultati sono riassunti nell'immagine seguente:



1	20-09-2016	CERTIFICAZIONE ISO 9001-2008	RF	RP	DT	pagina	
Rev.	Data	Relazione Descrittiva Metodologica	Redazione	Verifica	Approvazione	36 di 36	