

Ing. JACOPO TACCINI
 ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
 N° 2710 Sezione CA
 INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE

Il Progettista

Il Direttore dei Lavori

Rev.	Data	Motivo
00	16.06.2020	Prima emissione
01	05.10.2020	Integrazione
02		
03		
04		
05		

OGGETTO: Studio e valutazione qualitativa dei battenti idraulici attesi in corrispondenza del Piano Attuativo 13 Area ex Saifa - via Dante, nel Comune di Fucecchio

UBICAZIONE: FUCECCHIO FI - Via Dante
COMMITTENTE: HIBISCUS srl

ELABORATO: RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

DATA: Giugno 2020

Pr. n°: 20-010

ALLEGATO:

RI

STUDIO IDRAULICO

RELAZIONE IDRAULICA

Sommario

Premessa.....	2
Ubicazione dell'area di studio	5
Idrogrammi di piena indagati	6
Descrizione del modello matematico	7
Condizioni al contorno	11
Condizione al contorno di monte.....	11
Condizione al contorno di valle.....	11
Morfologia.....	12
Modello 1	12
Modello 2	13
Modello 3	14
Coefficiente di scabrezza.....	16
Risultati delle analisi	17
Dimensionamento del sistema di invarianza idraulica	19
Definizione del regime pluviometrico	19
La superficie impermeabile equivalente	22
Procedure e metodi utilizzati nel dimensionamento della vasca di laminazione	25
Ipotesi di dimensionamento a tutela delle preesistenti condizioni di criticità del reticolo fognario dell'area.....	26
Individuazione delle soluzioni progettuali da destinare alla laminazione	27

PREMESSA

Il presente studio idrologico idraulico si pone a supporto della RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA' AL PIANO ATTUATIVO N°13 (GIA' P.I.O. di C.31 – AREA ELEMENTARE n. 3) E CONTESTUALE VARIANTE AL R.U. (Area ex Saffa)" redatta dal Dott. Geol. Andrea CARMIGNANI per conto della soc. HIBISCUS srl.

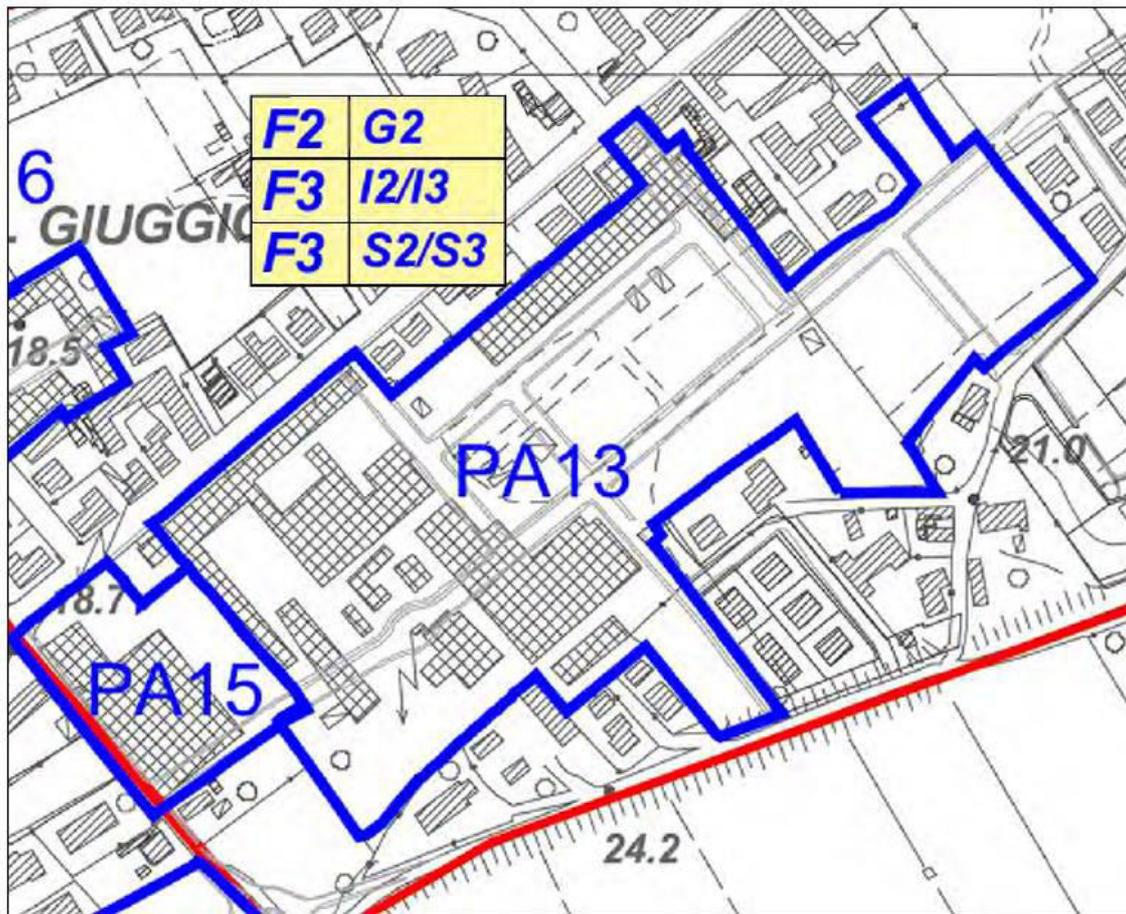
La soc. HIBISCUS, infatti, intende ottenere l'autorizzazione per la realizzazione di un Piano Attuativo riferito all'area posta in Fucecchio, lungo via Dante, per una superficie totale di 56.130 mq, individuata nel vigente Regolamento Urbanistico alla Scheda Progetto PA13.

Di seguito si riporta l'estratto della planimetria di progetto fornita.



In tema di Rischio Idraulico dell'area, la relazione geologica del Dott. Geol. CARMIGNANI individua le condizioni di fattibilità sulla base della Carta della Pericolosità Idraulica del RU, per la quale il sito di intervento è perlopiù classificato in classe di pericolosità media I.2 (aree interessate da allagamenti per eventi con TR>200 anni) e, limitatamente alla porzione NE, a pericolosità idraulica elevata I.3 (aree interessate da transito per eventi con TR<=200 anni).

La Scheda di Progetto PA13 allegata al RU indica infatti per l'area una fattibilità idraulica F3i, specificando quanto segue.



Fattibilità idraulica condizionata F3.

L'area è ricompresa tra le classi di pericolosità I3 ed I2, all'interno della cella di riferimento del PAI VI_007, per la quale la quota del livello idrico per episodi di esondazione con Tr=200 anni è fissata a 17,32 mslm.

Le quote altimetriche dell'area sono comprese tra 18,8 e 20,0 mslm, ben al di sopra della quota di riferimento per la sicurezza idraulica di 17,82 mslm, valore comprensivo di 50 cm di franco sul livello duecentennale previsto per la suddetta cella.

L'area è tuttavia fragile dal punto di vista idraulico essendo interessata dal transito delle acque in uscita dal Fiume Arno per episodi di esondazione con Tr pari a 200 anni.

In fase di progettazione degli interventi dovrà quindi essere valutata l'interferenza tra quanto in progetto e la dinamica delle acque di transito, al fine di porre in sicurezza gli interventi previsti senza altresì determinare aggravamenti di pericolosità nelle aree al contorno.

Relativamente al reticolo idraulico minore, se ne dovrà assicurare il corretto funzionamento anche in seguito agli interventi in progetto. Nelle tavole progettuali dovrà essere dettagliato il sistema di scolo delle acque meteoriche allo stato attuale ed in quello di progetto e le eventuali modifiche apportate dovranno perseguire il miglioramento del deflusso delle acque e l'eliminazione di eventuali situazioni di fragilità.

Tutti gli interventi dovranno essere realizzati ad una distanza minima di 10 metri dal piede dell'argine del Fiume Arno.

Le condizioni di pericolosità del RU definiscono pertanto un quadro di pericolosità idraulica TR200, anche se il livello di esondazione atteso nella cella VI007 risulta a quota di 17.32 mslm, a fronte di una quota topografica del terreno compresa tra 18.8 e 20 mslm. L'indicazione di pericolosità idraulica è infatti determinata dalla suscettibilità dell'area al transito delle acque a seguito dell'esondazione del Fiume Arno, le cui caratteristiche idrauliche in termini di battenti e di velocità non sono definibili mediante il modello idraulico di riferimento implementato a supporto del RU.

Anche in riferimento alla recente LR41/2018 risulta pertanto necessario determinare le caratteristiche idrauliche del flusso di transito che interessa l'area, al fine di individuare la quota di messa in sicurezza idraulica dell'intervento.

Il presente studio, quindi, si pone l'obiettivo di implementare un modello idraulico di dettaglio per l'area, derivandolo dall'approvato modello realizzato dall'Ing. Gesualdo BAVECCHI a supporto del RU. Pertanto il presente studio interessa una porzione limitata ed idraulicamente indipendente del territorio, assolutamente idonea allo scopo, ma di validità locale, senza voler costituire variante al vigente quadro conoscitivo.

Come meglio dettagliato nei paragrafi seguenti, sono stati implementati tre differenti modelli idraulici:

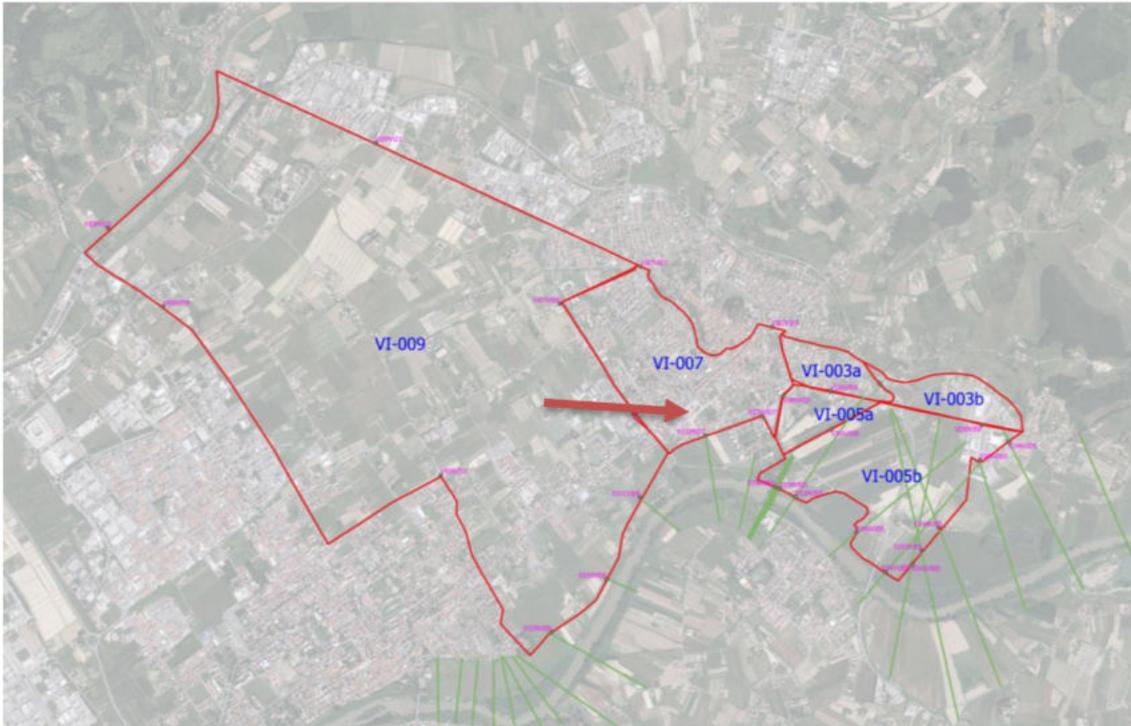
- Il primo modello idraulico riproduce fedelmente la geometria di quello implementato dall'Ing. BAVECCHI a supporto del RU, ed è stato tarato su di esso, in modo da costituire base di partenza per la presente analisi;
- Il secondo modello idraulico prende forma direttamente dal primo, e vede dettagliare le caratteristiche geometriche della macrocella VI007 che è così trasformata in area di deflusso bidimensionale, mantenendo inalterate le altre macroaree e le relative connessioni, andando quindi ad individuare il battente atteso nell'area di interesse;
- Sebbene le dimensioni del modello comportino un carico computazionale non trascurabile, abbiamo ritenuto opportuno procedere all'implementazione di un terzo modello idraulico, interamente bidimensionale per tutte le macrocelle precedentemente schematizzate. Tale modello mantiene perciò inalterate rispetto al primo le sole condizioni al contorno di input delle portate sfiorate dall'Arno, ed elimina eventuali errori nella definizione geometrica delle connessioni tra macrocelle.

Le caratteristiche idrauliche del flusso di transito indicate al termine del presente studio, e la conseguente quota di sicurezza idraulica, sono pertanto determinate quali maggiormente cautelative tra i risultati dei tre precedenti modelli.

La modellazione idraulica è stata svolta mediante il software HEC-RAS sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Nelle analisi sono stati considerati i tempi di ritorno trentennale TR30 e duecentennale TR200, valutando le durate di pioggia di 18 h, 24 h e 36 h indicate come critiche dagli studi allegati al RU del Comune di Fucecchio.

UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di interesse è ubicata nel Comune di Fucecchio lungo via Dante, e ricade all'interno della macrocella PAI VI007.



Come descritto anche all'interno della relazione idrologico-idraulica allegata al RU redatta dall'Ing. BAVECCHI, la dinamica esondativa che interessa la macrocella VI007 è determinata unicamente dalle esondazioni del Fiume Arno tra le sezioni 346 e 329, essa non è interessata invece dalle esondazioni di altri corsi d'acqua. Pertanto è stato possibile estrapolare dal modello generale dell'area redatto dall'Ingegnere, le sole macroaree individuate nell'immagine precedente; tra queste la macroarea VI009 è l'unica che risulta interessata anche da esondazioni non provenienti dall'Arno, ma, data la sua morfologia, tali contributi non influiscono in alcun modo sulle caratteristiche di pericolosità dell'area di interesse e sono stati pertanto trascurati nella presente analisi.

I tre modelli da noi implementati tengono pertanto conto degli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino per le esondazioni dell'Arno, ottenuti dal modello SIMI2004.

IDROGRAMMI DI PIENA INDAGATI

Il dato di input valido per tutti e tre i modelli implementati è costituito dagli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per le esondazioni dell'Arno, ottenuti dal modello SIMI2004, comunicatici mediante missiva di cui al Protocollo n. 4232/2020 del 08/06/2020, insieme ad altre informazioni geometriche necessarie alla costruzione del primo modello idraulico, e di cui discusso più avanti.



Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Rif. ns. prot. n. 03242 del 28.04.2020

Ing. Jacopo Taccini
jacopo.taccini@ingpec.eu

Oggetto: Richiesta dati idrometrici dell'Arno nella zona di Fucecchio.

In riscontro alla Vostra richiesta di dati idrometrici del fiume Arno nella zona di Fucecchio relativi al modello idraulico "SIMI2004", siamo a consegnare quanto in ns. possesso. In particolare vengono consegnati:

- Shapefiles delle Aree di Potenziale Esondazione (APE) denominate VI-003a, VI-003b, VI-005a, VI-005b, VI-007 e VI-009, contenenti gli involuipi dei principali dati idrometrici nei diversi tempi di ritorno, nonché le caratteristiche geometriche per la ricostruzione della curva di invaso;
- Shapefiles degli sfioratori (o connessioni) tra le diverse APE e tra le sezioni del fiume Arno direttamente connesse a tali aree. Gli shapefiles contengono i principali dati idrometrici connessi con tali sfioratori, nonché le loro caratteristiche geometriche;
- Shapefiles delle sezioni idrometriche del fiume Arno ubicate nell'intorno delle APE richieste (sezioni comprese tra la 356 e la 324)
- Fogli di calcolo contenenti l'andamento dei battenti idrometrici nelle APE richieste per TR30 e TR200, per durate di pioggia di 18, 24 e 36 ore.
- Fogli di calcolo contenenti i volumi esondati (espressi in mc/h) dalle sezioni dell'Arno verso le APE richieste per TR30 e TR200 per durate di pioggia di 18, 24 e 36 ore. Per il solo scenario TR30 e durata di pioggia di 24 ore è disponibile l'idrogramma di esondazione dalle sezione verso le APE (espresso in mc/s).

Infine, in merito al quesito da lei posto, si chiarisce che le esondazioni attraverso gli sfioratori che collegano le APE tra loro e con le sezioni dell'Arno, possono avvenire anche in modo "simultaneo" tra loro.

Cordiali saluti

Il Dirigente
dott. ing. Serena Franceschini

RS

Gli idrogrammi di esondazione così indagati riguardano eventi con TR30 e TR200, per durate di pioggia pari a 18, 24 e 36 ore, per le sezioni da 346 a 329.

DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

Il software HEC-RAS è un sistema integrato predisposto per un uso interattivo tramite un'interfaccia grafica che permette di accedere alle altre componenti quali l'analisi idraulica, l'archiviazione e la gestione dei dati e la visualizzazione dei risultati.

Il sistema dispone di tre componenti principali per la modellazione idraulica secondo lo schema monodimensionale destinate rispettivamente al regime di moto permanente, vario e a quello con fondo mobile.

La componente del sistema di modellazione relativa al regime permanente serve per calcolare la variazione del pelo libero per tali condizioni di moto lungo il corso d'acqua.

Il sistema può considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico (alveo che si immette in un lago che assicura sempre la stessa quota liquida) e sia infine un singolo corso d'acqua.

La componente di moto permanente è in grado di modellare correnti lenti, veloci e miste.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica. L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine.

Questa situazione comprende la valutazione in corrente mista (es: risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

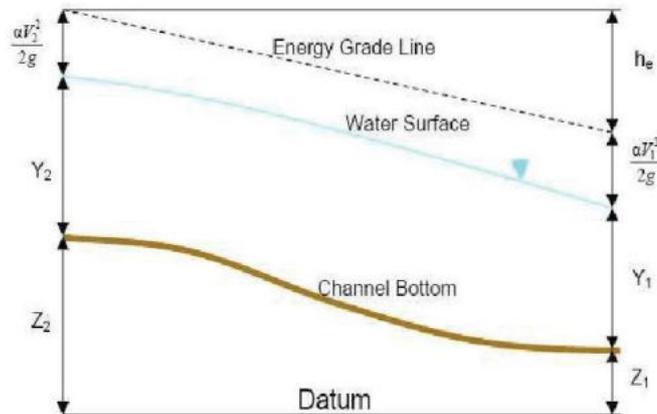
L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici.

Il sistema di calcolo in moto permanente è concepito per applicazioni nella sistemazione dei corsi d'acqua e delle pianure alluvionali e per gli studi finalizzati alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni dai corsi d'acqua. È inoltre possibile valutare il cambiamento nelle caratteristiche di moto dovuto alla rettifica della sezione e/o alla realizzazione di argini.

Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente.

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico, andando ad analizzare solamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto.



$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dove:

- Y_1, Y_2 sono i tiranti idrici;
- Z_1, Z_2 sono le quote geodetiche;
- V_1, V_2 sono le velocità medie;
- a_1, a_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e è la perdita di carico totale nel tratto considerato;

Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Esso si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

con:

- L la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate, calcolata come segue

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

Dove il pedice *lob*, *rob* e *ch* indica la golena sinistra, destra e il canale centrale, relativamente alle lunghezze e alle portate;

- S_f è la cadente della linea dei carichi totali;
- C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante. Per ciascuna di queste sottosezioni (golena sinistra, alveo e golena destra) è possibile assegnare un diverso valore del coefficiente di Manning da adottare nel calcolo.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinata mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta a veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico o dei momenti.

Il modello HEC-RAS consente anche di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. Per i coefficienti di contrazione ed espansione si sono quindi adottati rispettivamente i valori di 0.1 e 0.3.

In caso di simulazione in moto vario il software HEC-RAS utilizza le equazioni di De Saint Venant secondo differenti metodi di risoluzione a seconda che l'analisi si svolga in condizioni di corrente lenta, veloce o mista.

Equazione di continuità:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{(\partial Q)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial((1-\Phi^2) Q^2 / A_f))}{(\partial x_f)} + g A_c \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_c)} + S_{fc} \right] + g A_f \left[\frac{(\partial Z)}{(\partial x_f)} + S_{ff} \right] = 0$$

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

Per approfondimenti sulle equazioni ed algoritmi di calcolo si rimanda alla modilistica di HEC-RAS, ed in particolare all'Hydraulic Reference Manual.

MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di continuità (o conservazione della massa) e della quantità di moto, risolte con uno schema ai volumi finiti.

Assumendo il fluido incomprimibile l'equazione differenziale di continuità in moto vario si riduce:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

In cui u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y.

Quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di deflusso è molto maggiore della verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati, assumendo una distribuzione idrostatica delle pressioni. Assumendo quindi costante la densità del fluido l'equazione di conservazione della quantità di moto si riduce:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

Dove v_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f il coefficiente di attrito al fondo ed f è il coefficiente di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di invaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali rispetto ad altri software.

Preme sottolineare che nei modelli in analisi per tutte le aree 2D indagate è stato applicato il modulo computazionale **Full Momentum** che adotta per il calcolo le intere equazioni 2D di De Saint Venant, senza trascurarne alcun termine, assicurando la massima accuratezza del risultato a scapito di un maggior onere computazionale.

CONDIZIONI AL CONTORNO

Per consentire l'avvio della simulazione di deflusso, è necessario introdurre le condizioni al contorno.

Nella maggior parte dei modelli è conveniente introdurre come condizione al contorno in corrispondenza della sezione di monte, o della cella bidimensionale nel caso di modelli 2D, l'idrogramma calcolato per il bacino chiuso a tale sezione; per la sezione di valle è solitamente definita la pendenza della linea dell'energia in condizioni di deflusso a moto uniforme, per la quale è possibile assumere generalmente il medesimo valore di pendenza al fondo desumibile dal profilo longitudinale del corso d'acqua nel tratto terminale. Talvolta, in presenza di rigurgiti o altre condizioni note, si sceglie di introdurre nella sezione di valle valori definiti per la quota liquida. Quando poi il corso d'acqua riceve contributi da bacini posti lungo il percorso o da affluenti, è possibile inserire, come ulteriori condizioni al contorno, idrogrammi distribuiti o concentrati. Molte altre sono infine le possibili condizioni al contorno impiegate però meno frequentemente.

Condizione al contorno di monte

I modelli implementati non vedono analisi monodimensionali in alveo ma unicamente analisi quasibidimensionali o 2D extraalveo, pertanto le condizioni al contorno di monte sono definite dagli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino.

In particolare nel caso delle modellazioni 2D, mentre è ininfluenza per le modellazioni quasibidimensionali, assume importanza non soltanto le portate dell'idrogramma di sfioro, ma anche la posizione della sezione d'alveo dell'Arno che lo determina. Pertanto l'input degli idrogrammi di sfioro sono stati introdotti come distribuiti nelle celle 2D a cavallo della sezione di riferimento, per una lunghezza pari a quella specificata nel relativo shp fornito.

Condizione al contorno di valle

Per quanto riguarda invece le condizioni al contorno di valle non è stato necessario introdurre alcuna. Infatti i flussi esondanti dal Fiume Arno in corrispondenza delle macrocelle VI003 e VI005 transitano attraverso la macrocella VI007 sino ad accumularsi nella parte valliva della macrocella VI009. I livelli raggiunti nella macrocella VI009, data la morfologia del territorio, sono tali da non interferire in alcun modo con i livelli nella macrocella VI007, ancor meno con l'area di interesse del presente studio. Inoltre, come anticipato, la macrocella VI009 riceverebbe contributo anche dal Canale Usciana non oggetto del presente studio.

Pertanto i modelli da noi implementati possono sicuramente essere considerati validi per le macrocelle VI003a/b, VI005a/b e VI007, risultano invece non attendibili per la macrocella VI009 che è quindi da considerare esterna al campo di validità dei modelli.

Quanto trascurato nei confronti della macrocella VI009 risulta comunque ininfluenza nei confronti delle altre celle.

MORFOLOGIA

Per lo studio in esame sono stati implementati tre distinti modelli idraulici che si differenziano unicamente per la definizione morfologica.

Modello 1

Il primo modello è stato realizzato in completa analogia a quanto implementato dall'Ing. BAVECCHI a quadro conoscitivo del RU. Esso infatti è stato ricostruito essenzialmente quale base di partenza per il secondo modello.

In questo modello pertanto il territorio è stato suddiviso adottando le macrocelle (storage areas) PAI fornite in formato shp dall'Autorità di Bacino, a cui sono state assegnate le curve di invaso indicate dall'Ing. BAVECCHI nella relazione allegata al RU ed ottenute sulla base del rilievo lidar. Tali curve di invaso sono state anche da noi ricalcolate sulla base della cartografia lidar 1x1 messa a disposizione dalla Regione Toscana sulla propria pagina web Geoscopio WGS, verificando una perfetta corrispondenza.

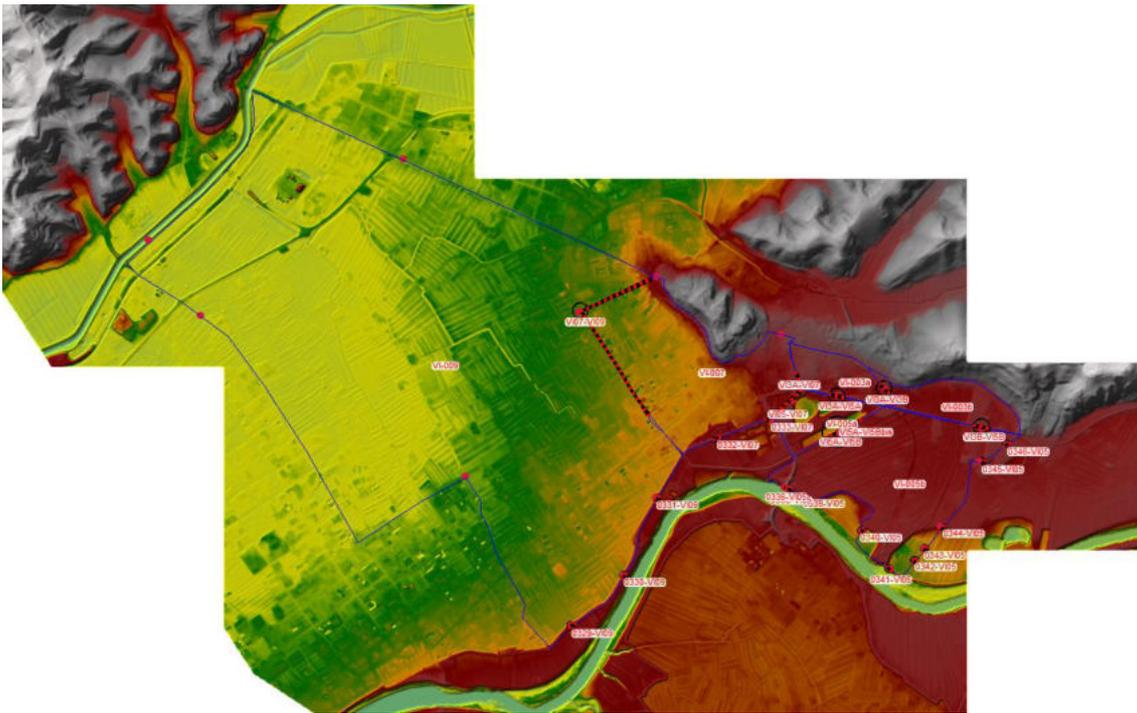
Le macrocelle modellate sono le VI003a, VI003b, VI005a, VI005b, VI007 e VI009.

Tra le storage areas sono stati poi modellati gli sfioratori di interconnessione secondo le geometrie che ci sono state indicate dall'Ing. Bavecchi, anch'esse ereditate dal modello SIMI2004 dell'Autorità di Bacino, ma adeguate alla cartografia di maggior dettaglio lidar.

Il modello idraulico così implementato è stato quindi eseguito ottenendo i medesimi risultati in termini di battente indicati dall'Ing. BAVECCHI (fatta eccezione per la macrocella VI009 per i motivi sopra menzionati), risultando così correttamente tarato ed usufruibile per la successiva implementazione del Modello 2.

	Tp=18h		Tp=24h		Tp=36h	
	TR200	TR30	TR200	TR30	TR200	TR30
VI005b	23.79	22.92	23.80	22.98	23.82	22.71
VI003a	23.78	vuota	23.80	vuota	23.81	vuota
VI003b	23.79	vuota	23.80	vuota	23.82	vuota
VI005a	23.78	vuota	23.80	vuota	23.81	vuota
VI007	17.28	vuota	17.30	vuota	17.32	vuota
VI009	14.86	vuota	15.06	vuota	15.13	vuota

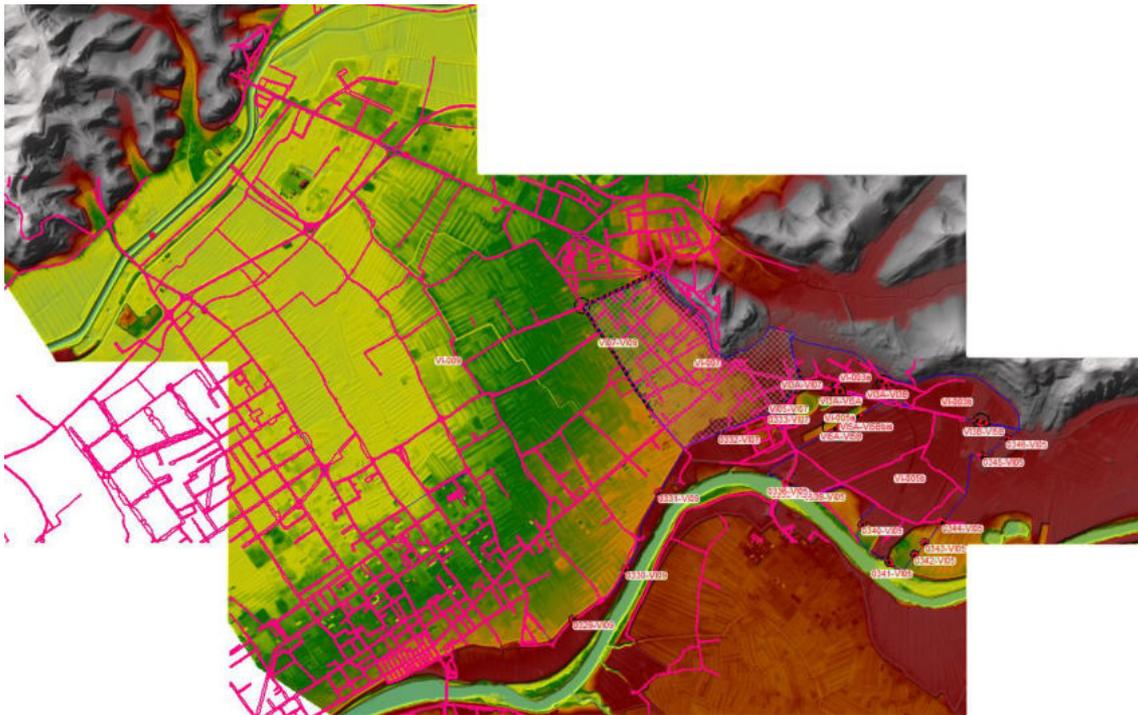
Si riporta di seguito una rappresentazione planimetrica del modello 1.



Modello 2

Il secondo modello è diretta conseguenza del primo. Abbiamo infatti provveduto a duplicare il modello 1 e trasformare la macrocella VI007 da storage area ad area 2D. Per essa è stata creata una maglia di calcolo regolare di lato 20m, infittita a 5m di lato in corrispondenza dell'area di interesse del presente studio. Sono state poi introdotte quali break lines le linee di definizione della viabilità, in modo da modellare le vie preferenziali offerte dalle strade, e sono stati assegnati i coefficienti di scabrezza superficiale secondo quanto indicato al prossimo paragrafo.

Si riporta di seguito una rappresentazione planimetrica del modello 2.



Modello 3

L'ultimo dei modelli implementati ha invece tenuto per buono dai precedenti il solo dato di input; sono stati quindi mantenuti gli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino, e la loro ubicazione spaziale.

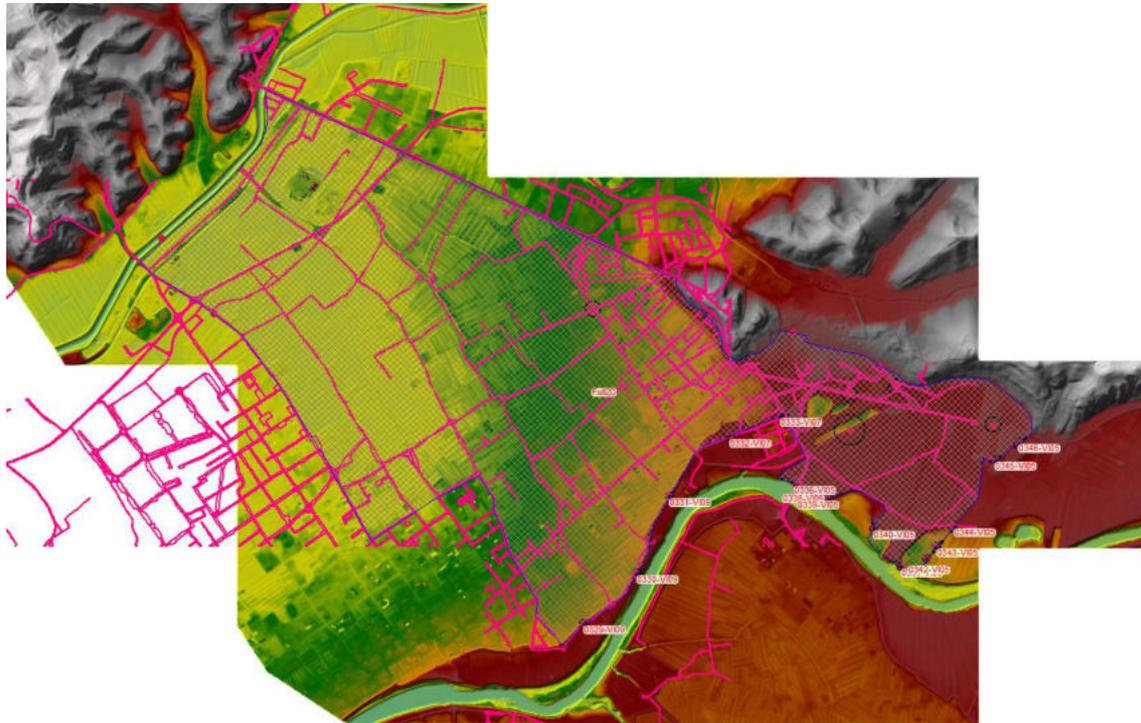
È stata invece creata un'unica area 2D che comprende tutto il territorio sotteso dalle precedenti macrocelle PAI. Il perimetro così ottenuto è stato leggermente adattato lungo le arginature del Fiume Arno per meglio adattarlo alla morfologia di maggior dettaglio della cartografia lidar.

L'area 2D è stata quindi implementata secondo una maglia di calcolo regolare di lato 20m, infittita a 5m di lato in corrispondenza dell'area di interesse del presente studio. Sono state poi introdotte quali break lines le linee di definizione della viabilità, in modo da modellare le vie preferenziali offerte dalle strade, e sono stati assegnati i coefficienti di scabrezza superficiale secondo quanto indicato al prossimo paragrafo. Allo stesso modo sono state inserite break lines in corrispondenza dei precedenti sfioratori di connessione tra le macrocelle.

Nonostante il maggior onere computazionale abbiamo ritenuto opportuno procedere anche a questo tipo di modellazione onde raggiungere l'attuale stato dell'arte in materia di studi idraulici di esondazione. Inoltre si è ritenuto scientificamente interessante sfruttare l'occasione per testare l'affidabilità di modelli idraulici quasibidimensionali dettagliati localmente a bidimensionali come nel caso del Modello 2, a confronto con modelli squisitamente bidimensionali (modello 3) e quasibidimensionali (modello 1).

Riteniamo interessante il risultato di tale confronto che conduce (almeno per l'area di nostro interesse) a valori sostanzialmente analoghi in termini di battenti e velocità.

Si riporta di seguito una rappresentazione planimetrica del modello 3.



I risultati rappresentati nelle cartografie allegate sono quelli derivanti dal Modello 2 che è risultato maggiormente cautelativo per l'area in esame. In ogni caso i risultati dei due modelli (Modello 2 e Modello 3) sono assolutamente paragonabili, basti confrontare quanto riportato nella tabella a seguire dove sono indicati i valori di battente massimo, medio e minimo all'interno dell'area di intervento. Le differenze tra i valori individuati rientrano ampiamente entro la sensibilità del modello.

	Modello 2	Modello 3
Battente massimo	1.3545 m	1.3527 m
Battente medio	0.3590 m	0.3430 m
Battente minimo	0.0011 m	0.0011 m

Vista la grande variabilità del battente all'interno dell'area, non è possibile assegnarne un valore unico valido per tutto il progetto, pertanto la tabella di cui sopra ha valore unicamente di raffronto tra i modelli implementati. Il valore del battente deve essere localmente individuato sulla base della cartografia allegata.

COEFFICIENTE DI SCABREZZA

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (R. Pestana et al. 2013, Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river, ESA Living Planet Symposium 2013).

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

RISULTATI DELLE ANALISI

Nelle allegate tavole grafiche si riportano i risultati sotto forma di battenti idraulici di esondazione determinati come inviluppo dei massimi ottenuti da ciascuna delle simulazioni in termini di durata della pioggia, indipendentemente dalla durata dell'evento meteorico che li ha determinati. Si mantiene invece la distinzione tra gli eventi meteorici aventi TR30 e quelli aventi TR200.

Tuttavia non sono stati prodotti gli elaborati relativi agli eventi meteorici aventi TR30 in quanto in tali condizioni non si verificano esondazioni che interessino la macrocella VI007 (quindi l'area in esame) come verificato anche dall'Ing. BAVECCHI in occasione degli studi a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Fucecchio.

Gli stessi elaborati grafici sono stati prodotti per rappresentare i valori di inviluppo delle velocità di deflusso derivanti dal modello.

Dalla combinazione tra il valore del battente e quello della velocità per gli eventi TR200, è stata ricavata la cartografia della magnitudo calcolata secondo le indicazioni di cui alla L.R. 41/2018.

Data l'estensione dell'area di interesse, si ricorda che il progetto riguarda un intero piano attuativo e non un singolo lotto, la morfologia sottesa risulta estremamente variabile, tanto che non è possibile indicare un unico valore del battente o della quota liquida (e della conseguente quota di sicurezza idraulica) valido per tutta l'area.

Abbiamo allora provveduto a produrre un ulteriore elaborato grafico "Tav. WSE – TR200 Quota idraulica da Modello 2" che individua tale quota con discriminie di 10 cm (sistema di riferimento Roma40 EPSG3003). Tale elaborato deve assumere significato qualitativo; all'interno delle aree perimetrate a pericolosità idraulica dal RU, per l'individuazione della quota di sicurezza idraulica di ciascun fabbricato sarà infatti necessario fare riferimento alla cartografia raster grid fornita in allegato alla presente. Essa consente di individuare localmente la quota liquida attesa, cui aggiungere idoneo franco idraulico (50 cm coerentemente con quanto prescritto nella scheda di fattibilità del RU) per ottenere la quota di sicurezza idraulica cui impostare il piano finito del fabbricato.

Urge tuttavia osservare che esiste una sostanziale differenza di quote nell'area di interesse tra la cartografia CTR 1:2000 ed il DTM 1x1 impiegato per il presente studio. Da un raffronto rappresentato nell'allegata tavola grafica "Tav.CFR – confronto tra quote CTR e quote lidar DTM 1x1", prendendo in considerazione i soli punti disposti lungo la viabilità (poiché maggiormente attendibili) si osserva che la cartografia CTR, ed il rilievo strumentale fornito e su di essa appoggiato, è posta ad una quota superiore di circa 1 m rispetto alle quote lidar. Pertanto si raccomanda che tutte le valutazioni derivanti dal presente studio siano svolte prendendo a riferimento la cartografia lidar, o al più la cartografia CTR con quote ridotte di 1 m.

Risulta a questo punto necessario sviluppare alcune considerazioni qualitative in termini di non aggravio del rischio nelle aree contermini. In tal senso si precisa che le misure di sicurezza idraulica dovranno essere individuate per ogni singolo lotto, ponendo i fabbricati alla quota di

sicurezza, assicurando la trasparenza idraulica all'interno di esso, realizzando i volumi al di sotto dei fabbricati permeabili alle acque di esondazione.

In questa sede è sufficiente osservare che il flusso delle acque di esondazione segue una direzione sostanzialmente SE – NO, ed il planivolumetrico di progetto che ci è stato fornito non prevede la presenza di fabbricati di grosse dimensioni disposti in contrasto con tale direzione. Viceversa il planivolumetrico della lottizzazione prevede una superficie edificatoria totale inferiore a quella ad oggi esistente, suddivisa su un maggior numero di edifici isolati in luogo degli attuali fabbricati di grosse dimensioni. Questa considerazione, unita alla permeabilità idraulica dei volumi allagabili che dovranno essere realizzati al di sotto dei fabbricati, assicura la non alterazione delle condizioni di rischio idraulico delle aree limitrofe in termini di direzione del flusso.

DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI INVARIANZA IDRAULICA

Definizione del regime pluviometrico

Il regime pluviometrico della zona in esame è stato determinato con riferimento allo studio a carattere regionale "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME – LSPP – Aggiornamento al 2012" redatto grazie alla collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, e disponibile sul sito del Settore Idrologico Regionale.

Il sistema ha provveduto alla definizione dei parametri a, n ed m descrittivi delle LSPP secondo una maglia regolare di lato 1km, e permette così di individuare i valori più appropriati dei tre parametri, semplicemente introducendone latitudine e longitudine.

Attraverso l'utilizzo del metodo statistico TCEV (Two Component Extreme Value) il citato studio definisce per il campo delle durate di pioggia minori e maggiori ad un'ora le curve di possibilità pluviometrica nella forma trinomia convenzionale

$$h = a \cdot t^n \cdot T_R^m$$

In questo caso sono presi in considerazione solo i parametri della curva di possibilità pluviometrica definiti per il campo delle durate di pioggia superiori ad un'ora. Il parametro m non è disponibile ma sono diversificati i valori a ed n per i diversi tempi di ritorno.

Per la presente analisi, in accordo con quanto riportato nel documento "Guida all'uso" allegato allo stesso studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" già citato, si è provveduto mediante tecnologia GIS a caricare i files forniti dallo studio riportanti i parametri georeferenziati a ed n, ed a ritagliare tale dato secondo il perimetro del territorio Comunale. Da alcune simulazioni effettuate, infatti, abbiamo constatato che la curva pluviometrica così determinata si discosta in modo assolutamente trascurabile rispetto a quelle determinate per ogni singolo bacino. Si è voluto pertanto semplificare l'onere computazionale impiegando un'unica curva valida su tutto il territorio Comunale, e che fosse pertanto impiegabile anche in eventuali studi o approfondimenti che dovessero rendersi necessari in futuro.

Così facendo si sono determinati i valori medi delle celle della maglia ricadenti all'interno del perimetro. In tal modo sono stati individuati i parametri medi ritenuti validi su tutti i sottobacini di interesse per ciascun tempo di ritorno.

Per il campo di durate di pioggia inferiori a mezzora, la curva di possibilità pluviometrica assume parametri "a" ed "n" differenti.

Il succitato studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" e la relativa "Guida all'uso", però, non definiscono le curve nel campo di durate inferiori all'ora, né indicano una metodologia da seguire.

Tuttavia l'adozione del parametro n per il campo di durate inferiori ad un'ora pari a quello indicato dallo studio condurrebbe a consistenti sovrastime delle altezze di pioggia, come comunemente dimostrato in letteratura.

Lo stesso studio indica però la possibilità di estendere la curva sino alle durate di pioggia di 30 minuti senza incorrere in eccessivi errori, lasciando al professionista la scelta della curva per durate inferiori.

Nel presente studio si è scelto allora di adottare, per piogge di durata inferiore a 30 minuti, per il parametro "n" il valore di 0,48 in accordo con vari studi sperimentali (CSDU 1997¹). Il parametro "a" valido al di sotto dei 30 minuti è invece determinato per ciascun tempo di ritorno come:

$$a_{<30min} = a_{>30min} * 0.5^{n>30min} / 0.5^{0.48}$$

Il parametro a così determinato per la curva in corrispondenza di durate inferiori a 30 minuti è tale da far corrispondere l'altezza di pioggia di durata 30 minuti, sia essa determinata da destra (mediante cioè la curva valida per d>0.5h) o da sinistra (mediante cioè la curva valida per d<0.5h), assicurando la congruenza del dato e la continuità della curva, che diversamente fornirebbe paradossalmente altezze di pioggia per d<0.5h superiori a quelle determinate per alcune durate >0.5h.

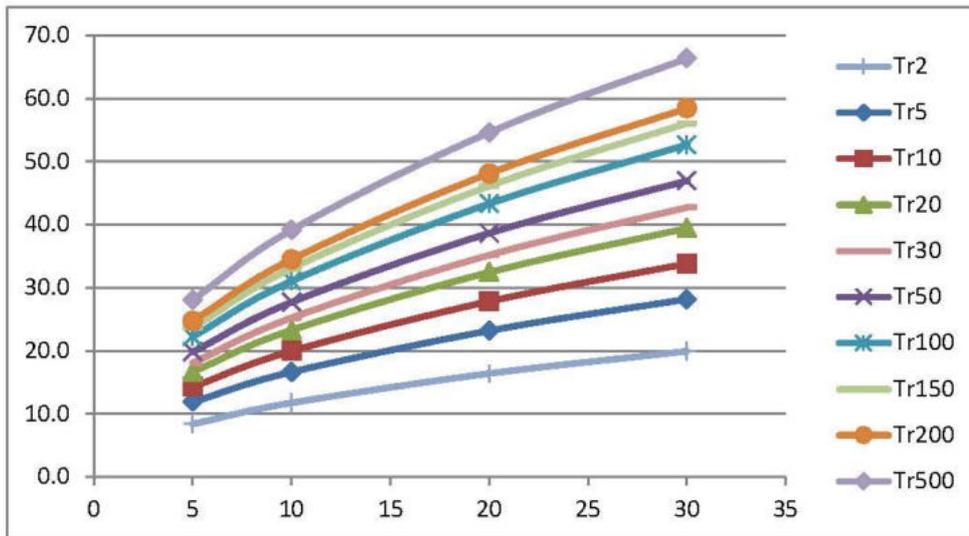
In definitiva le curve di possibilità pluviometriche adottate sono le seguenti.

TR	a > 30 min		a < 30 min	
	a	n	a	n
2	23.702	0.24895	27.819	0.48
5	33.436	0.24546	39.339	0.48
10	40.387	0.25529	47.194	0.48
20	47.568	0.26901	55.059	0.48
30	51.807	0.27661	59.651	0.48
50	57.234	0.28500	65.517	0.48
100	64.606	0.29473	73.459	0.48
150	69.03	0.29960	78.225	0.48
200	72.094	0.30229	81.545	0.48
500	82.229	0.30894	92.580	0.48

¹ Centro Studi Deflussi Urbani, Milano.

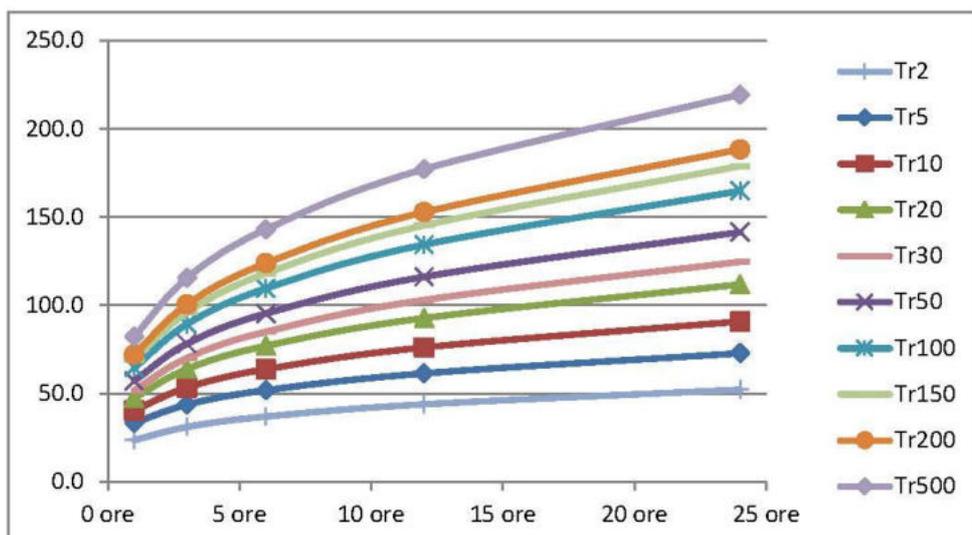
Durata inferiore a 1 ora: altezza di precipitazione in funzione di durata e tempo di ritorno

	5 minuti	10 minuti	20 minuti	30 minuti
2 anni	8.4	11.8	16.4	19.9 mm
5 anni	11.9	16.6	23.2	28.2 mm
10 anni	14.3	20.0	27.9	33.8 mm
20 anni	16.7	23.3	32.5	39.5 mm
30 anni	18.1	25.2	35.2	42.8 mm
50 anni	19.9	27.7	38.7	47.0 mm
100 anni	22.3	31.1	43.4	52.7 mm
150 anni	23.7	33.1	46.2	56.1 mm
200 anni	24.7	34.5	48.1	58.5 mm
500 anni	28.1	39.2	54.6	66.4 mm



Durata superiore a 1 ora: altezza di precipitazione in funzione di durata e tempo di ritorno

	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	23.7	31.2	37.0	44.0	52.3 mm
5 anni	33.4	43.8	51.9	61.5	72.9 mm
10 anni	40.4	53.5	63.8	76.2	90.9 mm
20 anni	47.6	63.9	77.0	92.8	111.8 mm
30 anni	51.8	70.2	85.0	103.0	124.8 mm
50 anni	57.2	78.3	95.4	116.2	141.6 mm
100 anni	64.6	89.3	109.6	134.4	164.8 mm
150 anni	69.0	95.9	118.1	145.3	178.9 mm
200 anni	72.1	100.5	123.9	152.8	188.4 mm
500 anni	82.2	115.5	143.0	177.2	219.5 mm



La superficie impermeabile equivalente

La "superficie impermeabile equivalente" rappresenta l'elemento essenziale della metodologia di dimensionamento utilizzata, descritta in seguito. È infatti il parametro che permette di concretizzare in tale studio gli effetti dell'urbanizzazione dell'area, quantificando l'aggravio di impermeabilizzazione delle superfici.

Tale parametro si ottiene dalla sommatoria delle aree previste per ciascuna tipologia di superficie di progetto per il rispettivo coefficiente di afflusso alla rete fognaria. Più frequentemente la superficie impermeabile equivalente si ottiene dal prodotto tra la superficie totale del bacino in analisi e il coefficiente di afflusso medio pesato.

Il coefficiente di afflusso alla rete fognaria dipende da molti fattori, alcuni dei quali legati alle caratteristiche del bacino (pendenze, percentuale delle aree pavimentate e tipi di pavimentazione, frequenza delle caditoie stradali e dei pozzetti di raccolta), e altri variabili per ogni evento pluviometrico (grado di imbibizione iniziale del suolo, durata e altezza della pioggia...).

Date le difficoltà pratiche di valutare a priori questi ultimi fattori, nella progettazione si assumono i valori dei coefficienti di afflusso in dipendenza solo delle caratteristiche del bacino, facendo prudenzialmente riferimento alle condizioni più critiche per l'umidità del suolo preesistente all'evento pluviometrico. Tale approssimazione risulta tanto più verosimile quanto minore è la superficie totale del bacino preso in analisi, e quanto maggiore è la percentuale di superficie impermeabile.

Con tali precisazioni, il coefficiente di afflusso alla rete fognaria viene a dipendere quasi esclusivamente dalla natura della superficie sulla quale scorre l'acqua prima di giungere alle caditoie stradali e ai pozzetti. Infatti, essendo molto brevi i tempi critici, risultano in genere assai modeste le perdite per evaporazione, mentre il volume liquido che si infiltra nel terreno può essere restituito al deflusso superficiale, peraltro parzialmente, dopo che si è verificato il colmo di piena, per cui non influenza il valore della portata massima.

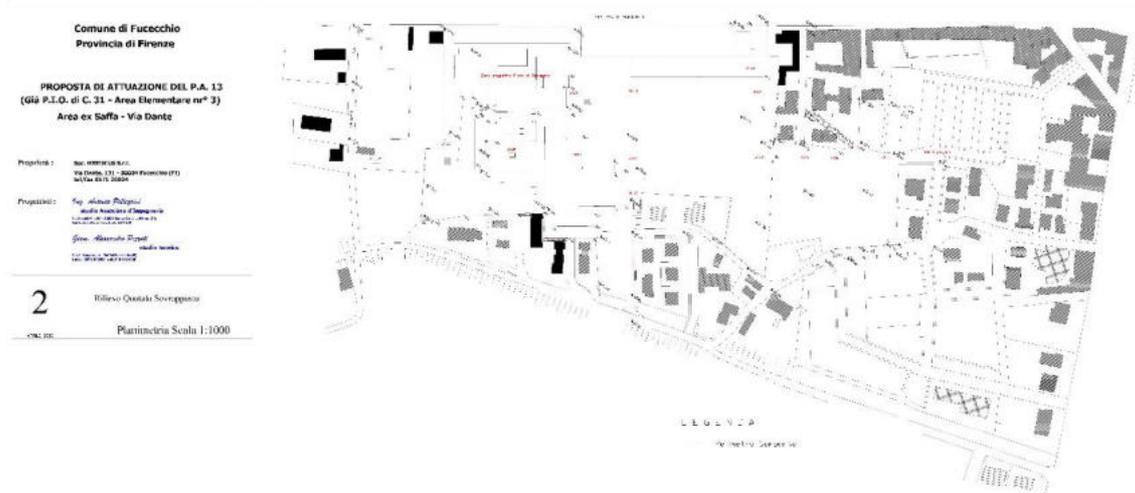
Mediamente si possono assumere i seguenti coefficienti di afflusso PSI per i diversi tipi di superfici noti in letteratura. Di seguito si riportano coefficienti cautelativi usualmente impiegati:

Tipologia di superficie	PSI
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15

Il coefficiente di afflusso medio pesato PSI relativo ad un'area A_{tot} , costituita da una serie di superfici A_i aventi coefficienti PSI_i diversi, è dato da:

$$PSI = \frac{\sum_i PSI_i \cdot A_i}{A_{tot}}$$

Si procede quindi alla determinazione della superficie impermeabile equivalente nella condizione di stato attuale dell'area. Sulla base di quanto indicato dal progettista del Piano Attuativo Geom. Alessandro Pizzuti, sono individuate le seguenti aree:



Superficie scolante	Tipologia	AREA [mq]
Tetti e coperture di fabbricati	Manto di copertura	12556
Strade e parcheggi	Asfalti	15250
TOTALE SUPERFICIE IMPERMEABILE		27806
Aree a verde	Verde incolto	26421
TOTALE SUPERFICIE PERMEABILE		26421
TOTALE SUPERFICI		54227

Tipologia di superficie	PSI	AREA [mq]
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00	27806
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45	0
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15	26421

Si è determinato un valore del coefficiente PSI medio pesato pari a **0.586**, da cui si ricava la seguente area impermeabile equivalente nella condizione di stato attuale:

$$A_{imp} = 54.227mq \cdot 0,586 = 31.769mq$$

Si procede ora alla determinazione della superficie impermeabile equivalente nella condizione di stato di progetto dell'area. Sulla base di quanto indicato dal progettista del Piano Attuativo Geom. Alessandro Pizzuti, per la porzione di lottizzazione non ancora realizzata, sono individuate le seguenti aree:



Superficie scolante	Tipologia	AREA [mq]
Tetti e coperture di fabbricati	Manto di copertura	10540
Strade	Asfalti	9330
Parcheggi	Asfalti	7540
Marciapiedi pubblici	Asfalti	2828
Marciapiedi privati	Lastricati	2973
TOTALE SUPERFICIE IMPERMEABILE		33211
Pista ciclabile	Calcestruzzo drenante	1259
TOTALE SUPERFICIE SEMIPERMEABILE		1259
Verde privato	Prato	13081
Verde pubblico	Prato	6676
TOTALE SUPERFICIE PERMEABILE		19757
TOTALE SUPERFICI		54227

Tipologia di superficie	PSI	AREA [mq]
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00	33211
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45	1259
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15	19757

Si è determinato un valore del coefficiente PSI medio pesato pari a 0.678, da cui si ricava la seguente area impermeabile equivalente nella condizione di stato attuale:

$$A_{imp} = 54.227mq \cdot 0,678 = 36.741mq$$

Procedure e metodi utilizzati nel dimensionamento della vasca di laminazione

Si determina ora la volumetria di invaso necessaria a garantire l'invarianza idraulica dell'intera lottizzazione. La volumetria di invaso qui determinata potrà essere realizzata in un'unica soluzione o ripartita su più vasche, auspicabilmente piccoli invasi da realizzarsi all'interno di ciascun lotto. La scelta di tali soluzioni sarà definita progettualmente nella fase esecutiva di ciascun lotto, in modo tale da tenere conto delle specificità e della quota di scarico della fognatura esistente. In questa sede interessa definire la volumetria totale cui assolvere.

Il metodo di calcolo che abbiamo scelto di utilizzare per il dimensionamento dei volumi di invaso da destinare allo stoccaggio temporaneo delle acque, come richiesto dal principio di invarianza idraulica è pertanto di tipo speditivo. In sede esecutiva mantenendo invariato il volume da destinare alla laminazione, potranno essere definite le caratteristiche degli organi di scarico in funzione delle geometrie delle vasche da realizzare.

Il volume d'acqua prodotto dalla variazione di permeabilità delle superfici scolanti previste dall'intervento edilizio, è funzione oltre che della sua estensione, dell'incremento dei coefficienti di deflusso, dell'altezza e della durata di pioggia. La formula per il calcolo di tale volume può essere così espressa:

$$V = S \cdot \Delta\varphi \cdot h$$

in cui:

S = area scolante introdotta o modificata dall'intervento [m^2];

h = altezza di pioggia funzione della durata e dell'intensità di pioggia[mm];

$\Delta\varphi$ = variazione del coefficiente di deflusso = $\varphi_{post} - \varphi_{pre}$

dove:

φ_{post} = coefficiente di deflusso dell'area scolante dopo l'intervento;

φ_{pre} = coefficiente di deflusso dell'area scolante prima dell'intervento.

Per quanto riguarda l'altezza di pioggia da assumere a base di calcolo si fa generalmente riferimento ad una pioggia oraria con TR20 che, per le relazioni individuate ai paragrafi precedenti risulta essere pari a 47.568 mm.

Conseguentemente il volume d'acqua prodotto dalla variazione di permeabilità dell'intero piano attuativo risulta pari a:

$$V = 54.227mq \cdot (0,678 - 0,586) \cdot \frac{47.568}{1000} = 237 mc$$

Il volume utile globale del sistema di invarianza idraulica dovrà pertanto essere pari a 250 mc.

Ipotesi di dimensionamento a tutela delle preesistenti condizioni di criticità del reticolo fognario dell'area

È noto tuttavia che grande parte del centro urbanizzato del Comune di Fucecchio, ivi compresa l'area in esame, sia soggetto ad importanti criticità del reticolo fognario, che hanno determinato situazioni di particolare attenzione anche recentemente. Pertanto su suggerimento dell'Amministrazione Comunale si vuole adesso considerare il dimensionamento dell'invaso di laminazione secondo un'ipotesi di maggior cautela.

Si provvede pertanto al dimensionamento dell'invaso supponendo una diversa condizione di preesistenza dell'area: nonostante allo stato attuale l'area risulti in buona parte impermeabilizzata e collegata al reticolo fognario, si ipotizza da prima che essa sia allo stato agricolo, e successivamente si fa l'ulteriore ipotesi estremamente cautelativa che essa non sia attualmente connessa al reticolo fognario.

Condizione di preesistenza allo stato agricolo

In questa prima ipotesi, suggerita dall'Amministrazione Comunale, si suppone che l'intera area risulti allo stato attuale a verde, pertanto permeabile. Per essa si assume quindi il coefficiente di afflusso PSI pari a 0.15, e la superficie impermeabile allo stato attuale si riduce pertanto a

$$A_{imp} = 54.227mq \cdot 0,15 = 8.134mq$$

Conseguentemente il volume necessario alla laminazione delle piogge risulta pari a

$$V = 54.227mq \cdot (0,678 - 0,15) \cdot \frac{47.568}{1000} = 1362 mc$$

Condizione di disconnessione dal reticolo fognario

Quale ipotesi estremamente cautelativa, si assume che l'area allo stato attuale non sia connessa al reticolo fognario. Ciò sta a significare che nella condizione attuale, a fronte di un evento meteorico, le acque non raggiungono il reticolo fognario ma sono interamente invase all'interno dell'area ed allontanate per semplice infiltrazione nel suolo.

Sotto tale ipotesi il sistema di invarianza in progetto dovrà essere tale da accumulare l'intero volume idrico corrispondente alla pioggia oraria con TR20 che interessa la superficie impermeabile di progetto. Ciò vale a dire assumere un coefficiente di afflusso in fognatura nullo nella condizione ante operam.

La superficie impermeabile allo stato attuale si riduce pertanto ulteriormente a

$$A_{imp} = 54.227mq \cdot 0,00 = 0mq$$

Conseguentemente il volume necessario alla laminazione delle piogge risulta pari a

$$V = 54.227mq \cdot (0,678 - 0,00) \cdot \frac{47.568}{1000} = 1749 mc$$

Pare evidente come quest'ultima ipotesi risulti estremamente cautelativa e lontana dalle reali condizioni, ma abbiamo ritenuto utile tale analisi quale termine di paragone.

Individuazione delle soluzioni progettuali da destinare alla laminazione

In accordo con l'Amministrazione Comunale si stabilisce allora di individuare alcune soluzioni di invaso da destinare alla laminazione, raggiungendo una volumetria complessiva che risulti intermedia tra 237 mc e 1362 mc. Ciò sarà ottenuto prevedendo sistemi di invarianza distinti per alcune porzioni della lottizzazione, dimensionati adottando il coefficiente di afflusso in fognatura pari a 0.15 per la condizione ante operam.

Le superfici permeabili o impermeabili sono state determinate geometricamente sulla base del progetto fornito.

Soluzione 1



La prima soluzione da adottare riguarda l'area interessata dai lotti C, D ed I, per essa si determinano le seguenti superfici di progetto:

Tipologia di superficie	PSI	AREA [mq]
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00	5896
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45	0
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15	7702
TOTALE	0.52	13598

Si è determinato un valore del coefficiente PSI medio pesato pari a 0.52, da cui il volume necessario alla laminazione delle piogge risulta pari a:

$$V = 13.598 \text{ mq} \cdot (0,52 - 0,15) \cdot \frac{47.568}{1000} = 238 \text{ mc}$$

Dovrà quindi essere realizzata una rete di fognatura ad hoc, che raccoglierà le superfici impermeabili interne al contorno rosso rappresentato nell'immagine, e le convoglierà al sistema di laminazione prima della loro immissione in fognatura. Il sistema di laminazione di volume indicativamente pari a 238 mc potrà essere realizzato mediante una depressione nell'area a verde pubblico, dove le acque saranno invasate temporaneamente e fatte confluire alla fognatura mediante un sistema a bocca tarata. La massima portata di scarico dovrà essere quindi pari a:

$$Q_{max} = 13.598 \text{ mq} \cdot 0,15 \cdot \frac{47.568}{1000} \cdot \frac{1000}{3600} = 27 \text{ l/s}$$

Soluzione 2



La seconda soluzione da adottare riguarda l'area interessata dai lotti B e parte del C, per essa si determinano le seguenti superfici di progetto:

Tipologia di superficie	PSI	AREA [mq]
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00	6227
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45	0
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15	3589
TOTALE	0.69	9816

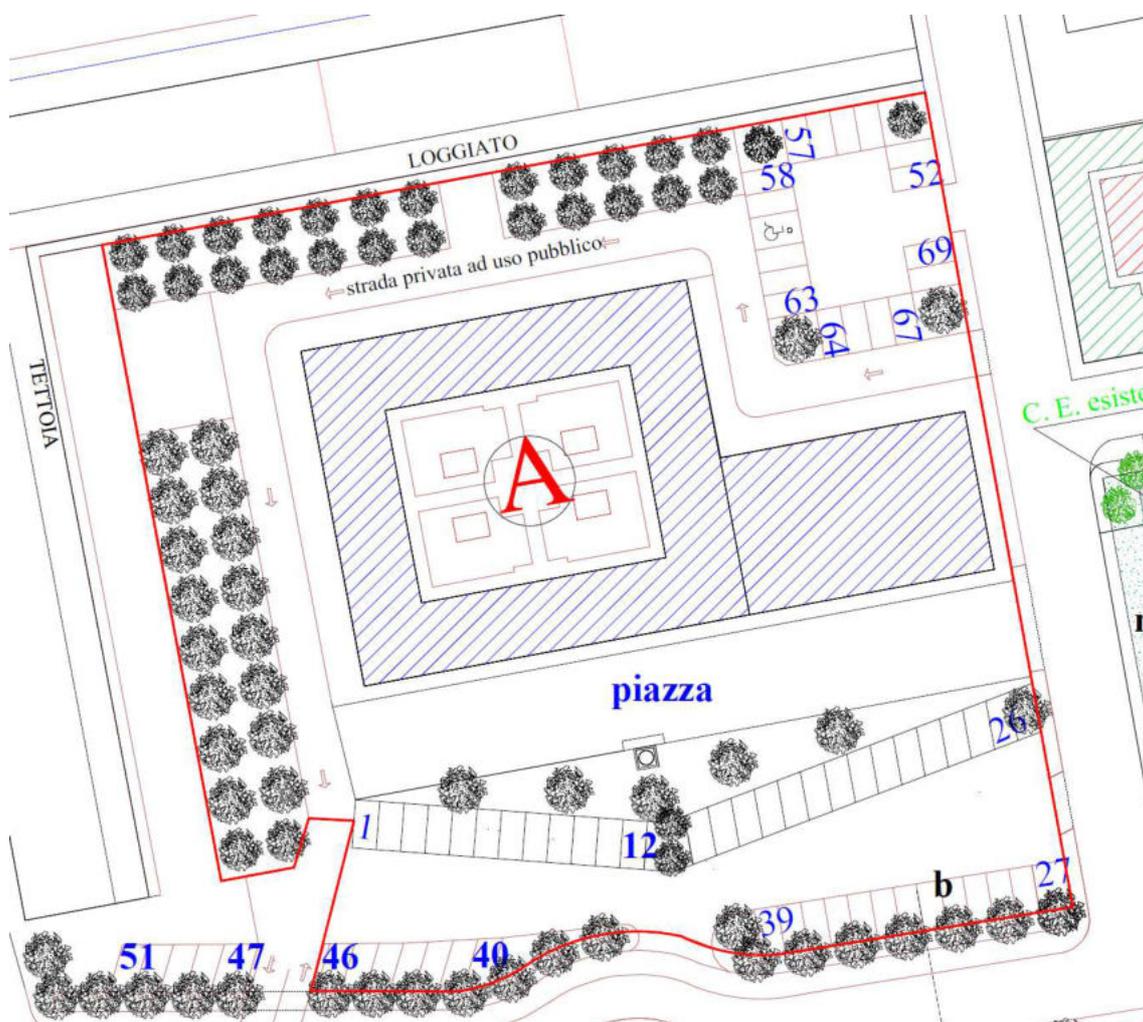
Si è determinato un valore del coefficiente PSI medio pesato pari a 0.69, da cui il volume necessario alla laminazione delle piogge risulta pari a:

$$V = 9.816 \text{ mq} \cdot (0,69 - 0,15) \cdot \frac{47.568}{1000} = 252 \text{ mc}$$

Dovrà quindi essere realizzata una rete di fognatura ad hoc, che raccoglierà le superfici impermeabili interne al contorno rosso rappresentato nell'immagine, e le convoglierà al sistema di laminazione prima della loro immissione in fognatura. Il sistema di laminazione di volume indicativamente pari a 252 mc potrà essere ottenuto realizzando la dorsale principale sotto strada di sezione maggiorata. Potrà essere quindi adottata una condotta scatolare carrabile a cui saranno collettate tutte le derivazioni. Le acque così invase temporaneamente confluiranno alla fognatura mediante un sistema a bocca tarata. La massima portata di scarico dovrà essere quindi pari a:

$$Q_{max} = 9.816 \text{ mq} \cdot 0,15 \cdot \frac{47.568}{1000} \cdot \frac{1000}{3600} = 20 \text{ l/s}$$

Soluzione 3



La terza soluzione da adottare riguarda l'area interessata da parte del lotto A, per essa si determinano le seguenti superfici di progetto:

Tipologia di superficie	PSI	AREA [mq]
Superfici impermeabili (tetti, coperture metalliche, piazzali o viali asfaltati o cementati... ecc)	1.00	5738
Superfici drenanti (pavimentazioni drenanti o a blocchi sconnessi, piazzali o viali in terra battuta... ecc)	0.45	0
Superfici permeabili (giardini, aree a verde, parchi... ecc)	0.15	1180
TOTALE	0.85	6918

Si è determinato un valore del coefficiente PSI medio pesato pari a 0.85, da cui il volume necessario alla laminazione delle piogge risulta pari a:

$$V = 6.918 \text{ mq} \cdot (0,84 - 0,15) \cdot \frac{47.568}{1000} = 232 \text{ mc}$$

Il sistema di laminazione di volume indicativamente pari a 232 mc potrà essere realizzato mediante una depressione all'interno delle tre a verde pubblico, dove le acque saranno invasate temporaneamente e fatte confluire alla fognatura mediante un sistema a bocca tarata. La massima portata di scarico dovrà essere quindi pari a:

$$Q_{max} = 6.918 \text{ mq} \cdot 0,15 \cdot \frac{47.568}{1000} \cdot \frac{1000}{3600} = 14 \text{ l/s}$$

Le soluzioni ipotizzate sono quindi in grado di invasare complessivamente 722 mc. Peraltro si fa presente che due delle soluzioni proposte prevedono l'invaso dei volumi all'interno di aree a verde, pertanto potranno consentire una maggior capacità di infiltrazione, a tutto beneficio del sistema di fognatura, trascurata nei precedenti calcoli.