

Stefano Pagliara "Studio idraulico finalizzato alla verifica degli effetti della realizzazione del sovrappasso stradale di collegamento tra l'aeroporto e l'area cantieristica"



COMUNE DI PISA



Studio Ing. S.PAgliara

Studio idraulico finalizzato alla verifica degli effetti della realizzazione del sovrappasso stradale di collegamento tra l'aeroporto e l'area cantieristica

Variante al R.U. ai sensi della L.R. n.1 del gennaio 2005

Relazione idraulica



Il tecnico incaricato:

Data: dicembre 2005

Versione:

Prof. Ing. Stefano Pagliara

Ing. STEFANO PAGLIARA
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 1200 sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

RELAZIONE GENERALE,

Studio idraulico finalizzato alla verifica degli effetti della realizzazione del sovrappasso stradale di collegamento tra l'aeroporto e l'area cantieristica

Variante al R.U. ai sensi della L.R. n.1 del gennaio 2005

1.PREMESSA

Il comune di Pisa ha affidato allo scrivente lo studio idraulico circa le problematiche di modifica del rischio idraulico connesse con la realizzazione del sovrappasso stradale. Lo studio si articolerà nelle seguenti fasi:

FASE 1: CALCOLO DELLE ESONDAZIONI STATO ATTUALE

Simulazioni idrauliche relative alle zone interessate dall'intervento nello stato attuale;

FASE 2: CALCOLO DELLE ESONDAZIONI STATO DI PROGETTO

Simulazioni idrauliche relative alle zone interessate dall'intervento nello stato di progetto;

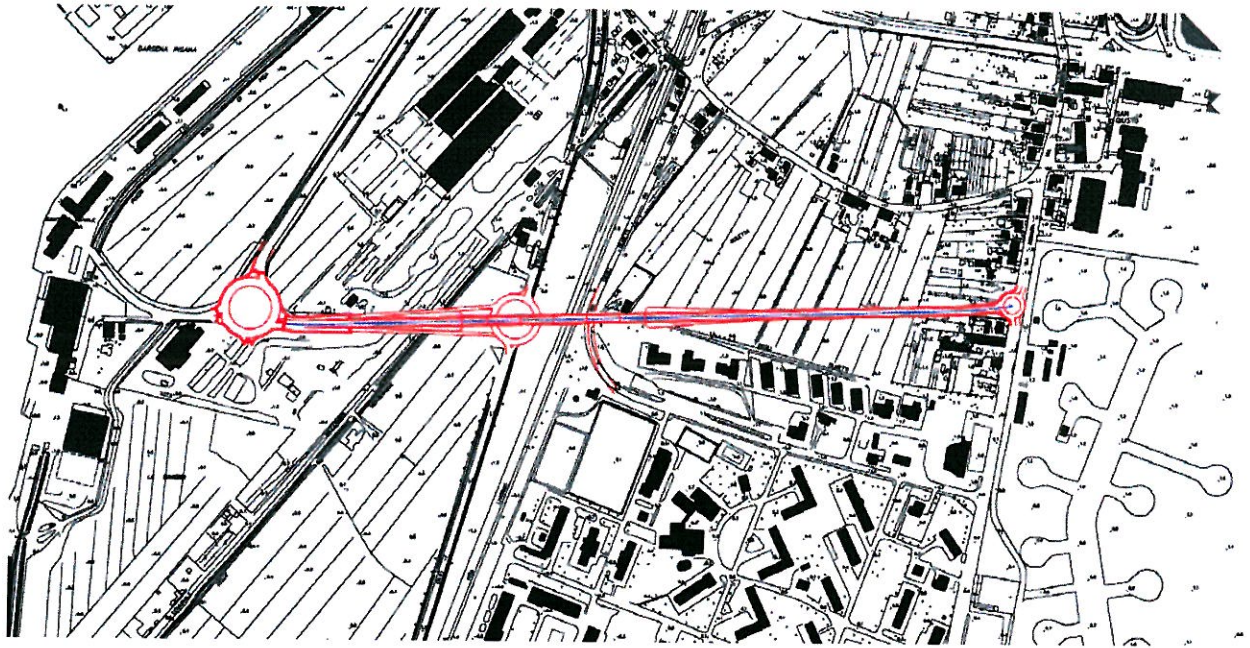
2.DESCRIZIONE DELLA ZONA OGGETTO DELLO STUDIO

La zona in studio è relativa alla parte di mezzogiorno dell'abitato di Pisa.

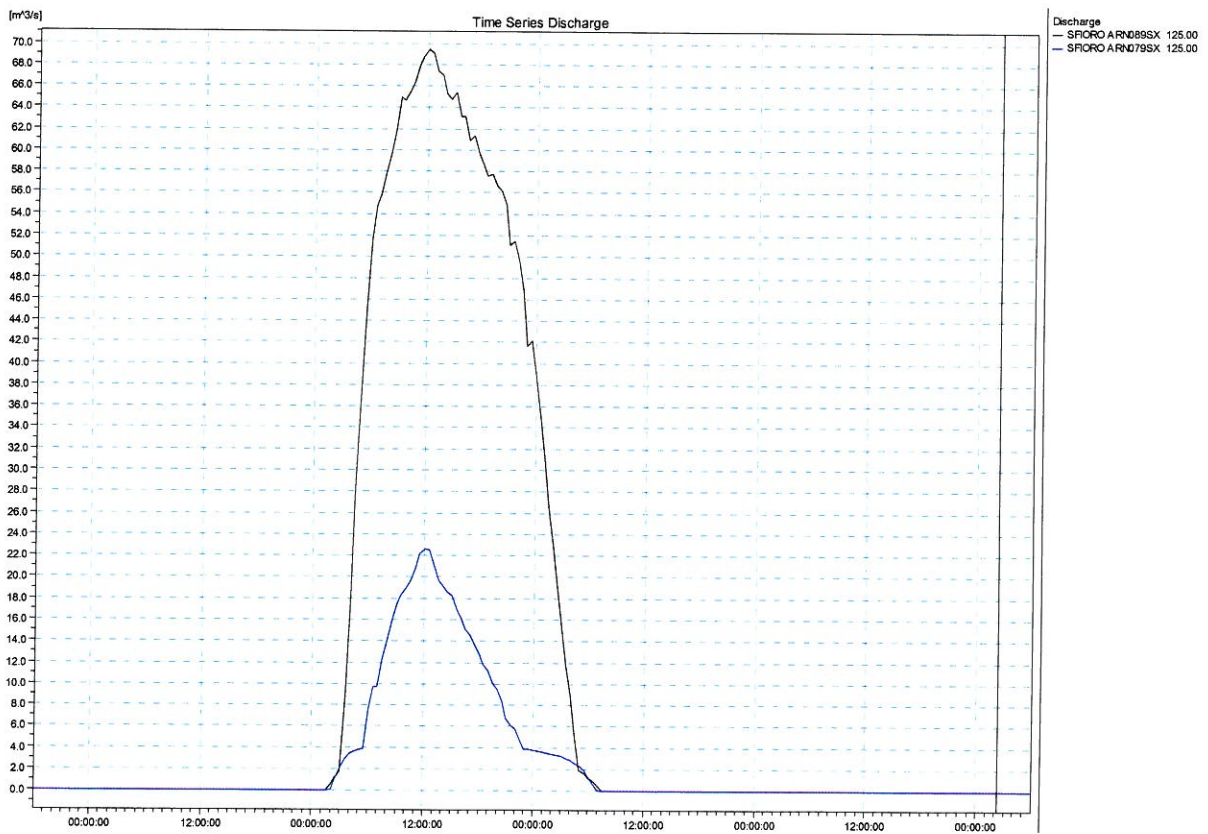
Le esondazioni sono quelle relative al fiume Arno per la piena avente tempi di ritorno pari a 200 anni.

Il fiume Arno, per tempi di ritorno pari a 200 anni esonda al ponte di mezzo e nel tratto a monte sia in destra che in sinistra idrografica.

Le portate di esondazione immesse nel modello sono riportate nelle figure seguenti:



intervento di progetto



Idrogrammi di esondazione dal F.Arno in Sx: stato attuale $Tr_{200} t= 36h$
Ing. Stefano Pagliara, Via Borsellino, 14 - 56100 -Pisa tel. 050 830856

Il calcolo idraulico è stato effettuato a moto permanente lungo i corsi d'acqua ed a moto vario bidimensionale per quanto riguarda la propagazione delle esondazioni.

Il calcolo del profilo di rigurgito a moto permanente viene effettuato risolvendo l'equazione dell'energia con le perdite di carico distribuite valutate mediante l'equazione di Manning, sono calcolate inoltre le perdite di carico localizzate dovute a repentini cambiamenti di sezione nonché alla presenza di manufatti come ponti stramazzi e briglie.

Il calcolo è stato effettuato propagando, per ciascuna sezione del F.Arno risultata idraulicamente insufficiente del tratto preso in considerazione, le acque di esondazione sulla pianura alluvionale.

Il calcolo è stato effettuato mediante un modello di simulazione in moto vario bidimensionale (l'unico che permetta, con un ottimo grado di precisione il calcolo della propagazione delle acque di esondazione). In particolare è stato usato il modello **FIM2D (Pagliara 1997-2005)**.

Il modello matematico usato simula il flusso bidimensionale a superficie libera mediante il sistema alle derivate parziali, iperbolico, non lineare, delle equazioni complete di De Saint Venant.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte,

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad (3)$$

con:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, x ed y sono le coordinate spaziali, t il tempo, h l'altezza d'acqua, u e v le componenti della velocità nelle due direzioni, $M = u \cdot h$ = flusso nella direzione x ; $N = v \cdot h$ = flusso della corrente nella direzione y , H è la quota della superficie libera, n il coefficiente di scabrezza di Manning, ρ la densità dell'acqua mentre τ_x e τ_y sono gli sforzi tangenziali al fondo, rispettivamente nelle direzioni x ed y .

Il metodo usato per la formulazione numerica delle equazioni (1)-(3) è quello originariamente proposto da Iwasa (Iwasa et al., 1980) e usa uno schema alle differenze finite di tipo esplicito.

L'equazione di continuità viene scritta nella forma seguente:

$$\frac{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+3} - h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{M_{i+1,j+1/2}^{n+2} - M_{i,j+1/2}^{n+2}}{\Delta x} + \frac{N_{i+1/2,j+1}^{n+2} - N_{i+1/2,j}^{n+2}}{\Delta y} = 0, \quad (6)$$

i vari termini nella eq.2 sono cosi' esprimibili:

$$a) \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{M_{i,j+1/2}^{n+2} - M_{i,j+1/2}^n}{2\Delta t} \quad (7)$$

$$b) \frac{\partial(uM)}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{M_{i+1,j+1/2}^n + M_{i,j+1/2}^n}{2} \right)^2 -$$

$$(8) \quad \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{M_{i,j+1/2}^n + M_{i-1,j+1/2}^n}{2} \right)^2$$

$$c) \frac{\partial(vM)}{\partial y} = \frac{1}{\Delta y} \frac{(M_{i,j+1/2}^n + M_{i,j+3/2}^n)(N_{i+1/2,j+1}^n + N_{i-1/2,j+1}^n)}{h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j+3/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j+3/2}^{n+1}} -$$

$$\frac{1}{\Delta y} \frac{(M_{i,j+1/2}^n + M_{i,j-1/2}^n)(N_{i+1/2,j}^n + N_{i-1/2,j}^n)}{h_{i-1/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}} \quad (9)$$

d)

$$gh \frac{\partial H}{\partial x} = g \cdot \left(\frac{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}}{2} \right) \quad (10)$$

$$\left(\frac{H_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} - H_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}}{\Delta x} \right)$$

e)

$$\frac{1}{\rho} \tau_x = \frac{g n_{i,j+1/2}^2 (\bar{u}_{i,j+1/2}) \sqrt{(u_{i,j+1/2}^n)^2 + (v_{i,j+1/2}^n)^2}}{\left((h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}) / 2 \right)^{1/3}} \quad (11)$$

i termini della equazione (3) possono essere cosi' scritti:

$$a) \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{N_{i+1/2,j}^{n+2} - N_{i+1/2,j}^n}{2\Delta t} \quad (12)$$

$$b) \frac{\partial(uN)}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x} \frac{(M_{i+1,j+1/2}^n + M_{i+1,j-1/2}^n)(N_{i+1/2,j}^n + N_{i+3/2,j}^n)}{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+3/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+3/2,j+1/2}^{n+1}} -$$

$$\frac{1}{\Delta x} \frac{(M_{i,j+1/2}^n + M_{i,j-1/2}^n)(N_{i-1/2,j}^n + N_{i+1/2,j}^n)}{h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1}} \quad (13)$$

$$c') \frac{\partial(vN)}{\partial y} = \frac{1}{\Delta y} \frac{1}{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1}} \left(\frac{N_{i+1/2,j}^n + N_{i+1/2,j+1}^n}{2} \right)^2 - \frac{1}{\Delta y} \frac{1}{h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1}} \left(\frac{N_{i+1/2,j-1}^n + N_{i+1/2,j}^n}{2} \right)^2 \quad (14)$$

$$d') gh \frac{\partial H}{\partial y} = g \cdot \left(\frac{h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1}}{2} \right) \cdot \left(\frac{H_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} - H_{i+1/2,j-1/2}^{n+1}}{\Delta y} \right) \quad (15)$$

$$e') \frac{1}{\rho} \tau_y = \frac{gn_{i+1/2,j}^2 (\bar{v}_{i+1/2,j}) \sqrt{(u_{i+1/2,j}^n)^2 + (v_{i+1/2,j}^n)^2}}{\left((h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1}) / 2 \right)^{1/3}} \quad (16)$$

in cui:

$$\bar{u}_{i,j+1/2} = \frac{(M_{i,j+1/2}^{n+2} + M_{i,j+1/2}^n) / 2}{(h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i-1/2,j+1/2}^{n+1}) / 2}$$

$$\bar{v}_{i+1/2,j} = \frac{(N_{i+1/2,j}^{n+2} + N_{i+1/2,j}^n) / 2}{(h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} + h_{i+1/2,j-1/2}^{n+1}) / 2}$$

Il calcolo procede mediante la soluzione delle equazioni (2) e (3) per le incognite M^{n+2} e N^{n+2} in quanto i valori M^n , N^n e h^{n+1} sono specificati dalle condizioni iniziali o sono conosciuti dal precedente passo temporale. I valori M^{n+2} ed N^{n+2} sono sostituiti nella equazione di continuita' e quindi viene ricavata l'incognita h^{n+3} . La versione piu' recente del codice di calcolo prevede alcune modifiche nei termini non lineari, al fine di ottenere una migliore stabilita' dello schema numerico.

Sono presenti nel modello due diversi tipi di condizioni al contorno. La prima e' quella che considera una condizione al contorno in cui il flusso $M=N=0$, mentre la seconda considera la possibilita' di far defluire la portata in arrivo verso l'esterno della mesh considerata.

Il fronte della corrente e' trattato in modo tale che quando l'altezza d'acqua e' minore di un prefissato valore (p.e. 0.001m), il flusso nella rispettiva cella e' assunto pari a zero. Particolari equazioni sono usate nel modello, nel caso in cui si abbia un gradino od un salto di fondo fra due celle adiacenti.

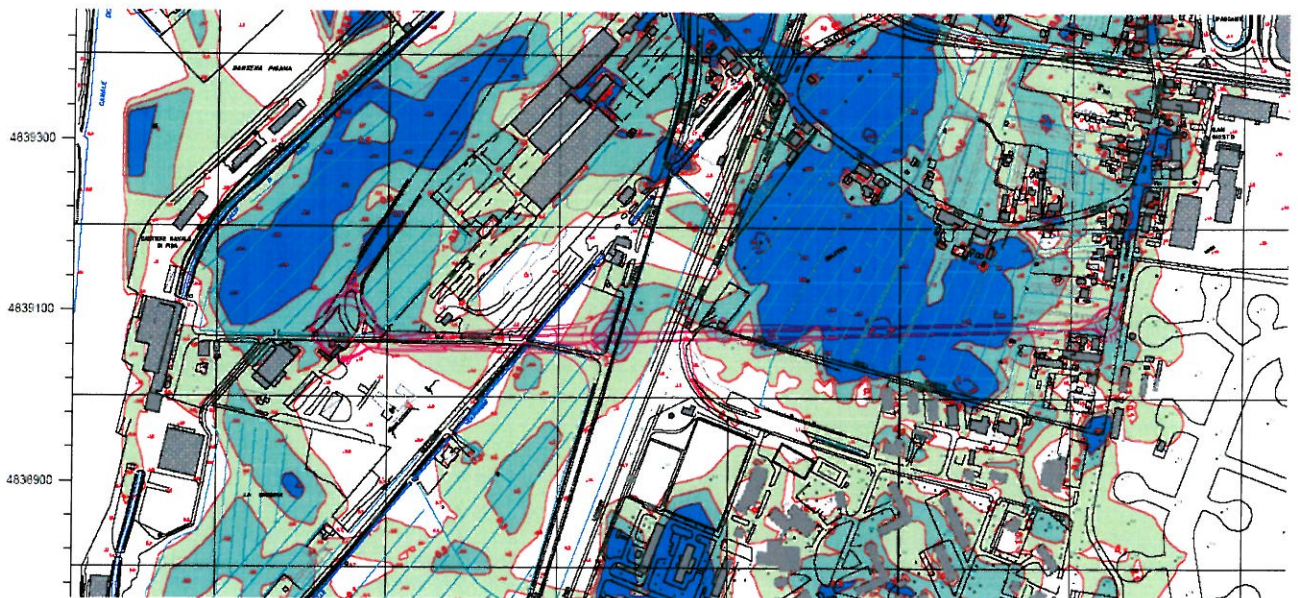
RISULTATI DEL CALCOLO

Il calcolo è stato condotto ipotizzando che, ove si abbia sormonto di arginature esistenti non rivestite le stesse crollassero, dando luogo ad un idrogramma di piena di allagamento in grado di massimizzare gli allagamenti nelle zone interessate dal calcolo.

ATTUALE

Tr=200 anni

Nello stato attuale le esondazioni nell'area dovute al F.Arno risultano quelle riportate nella figura seguente.



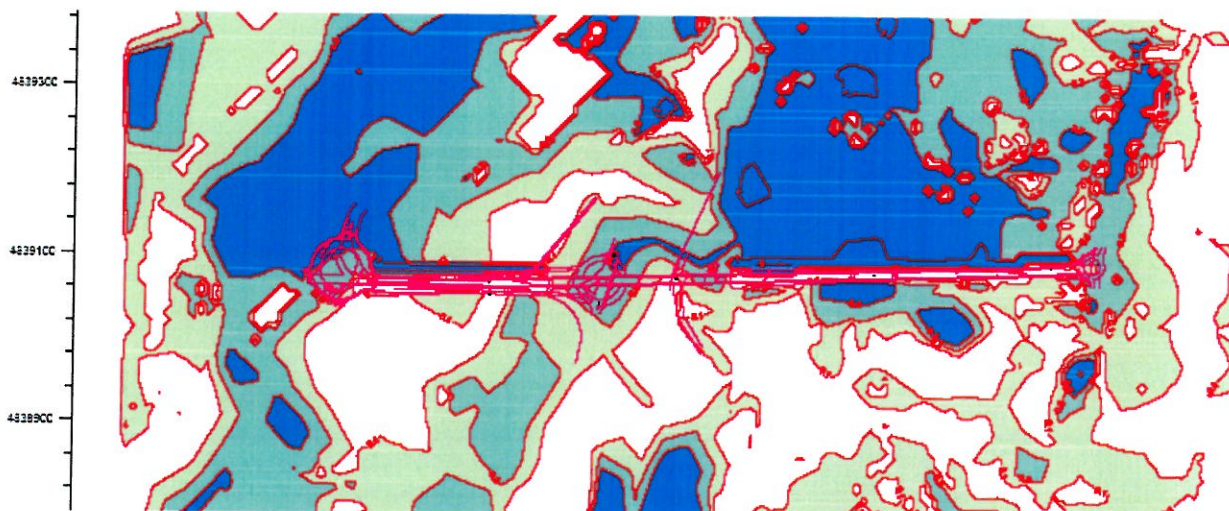
stato attuale (con indicazione della strada in progetto)

Si ha che l'area e' interessata da valori di tirante idrico che variano da 10 a 100 cm.

SITUAZIONE DI PROGETTO

Tr=200 anni

Nella situazione di progetto, con la strada, la situazione e' quella riportata nelle figure seguenti:



andamento delle esondazioni (senza cartografia)



situazione delle esondazioni con strada di progetto

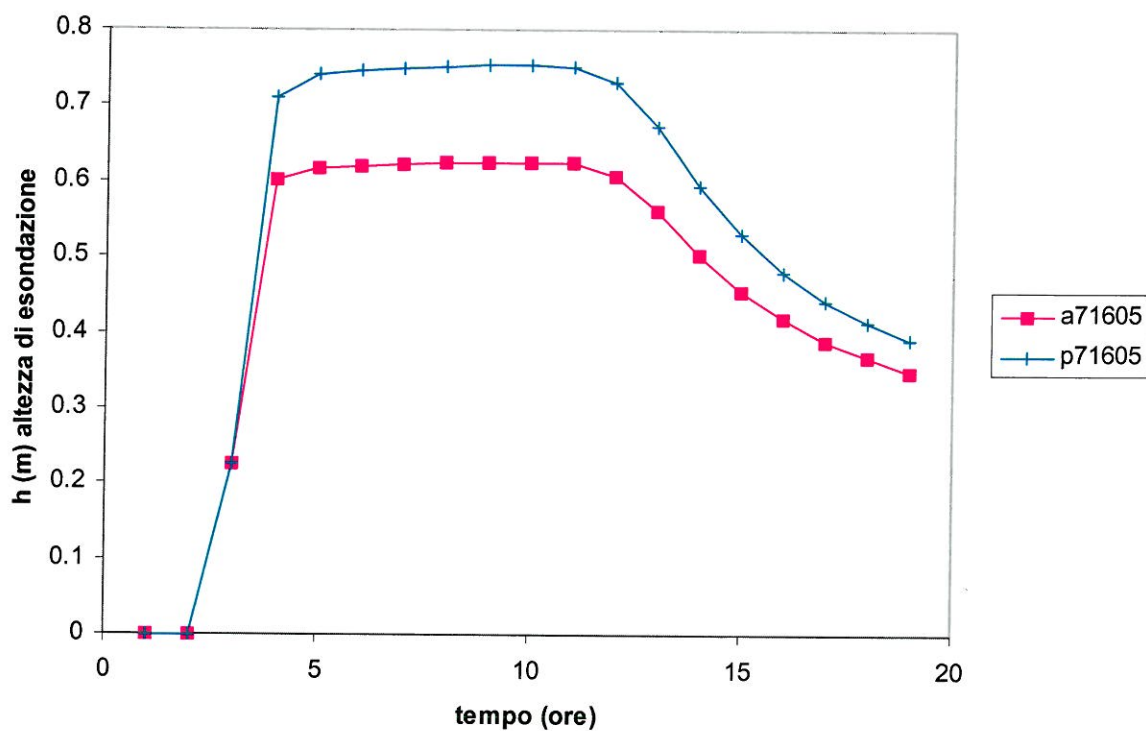
E' evidente l'effetto della strada nella modifica delle linee di esondazione con peggioramenti a monte del nuovo rilevato e miglioramenti a valle per l'effetto "schermo".

Nella tavola allegata alla presente relazione sono riportati nel dettaglio i risultati delle simulazioni effettuate.

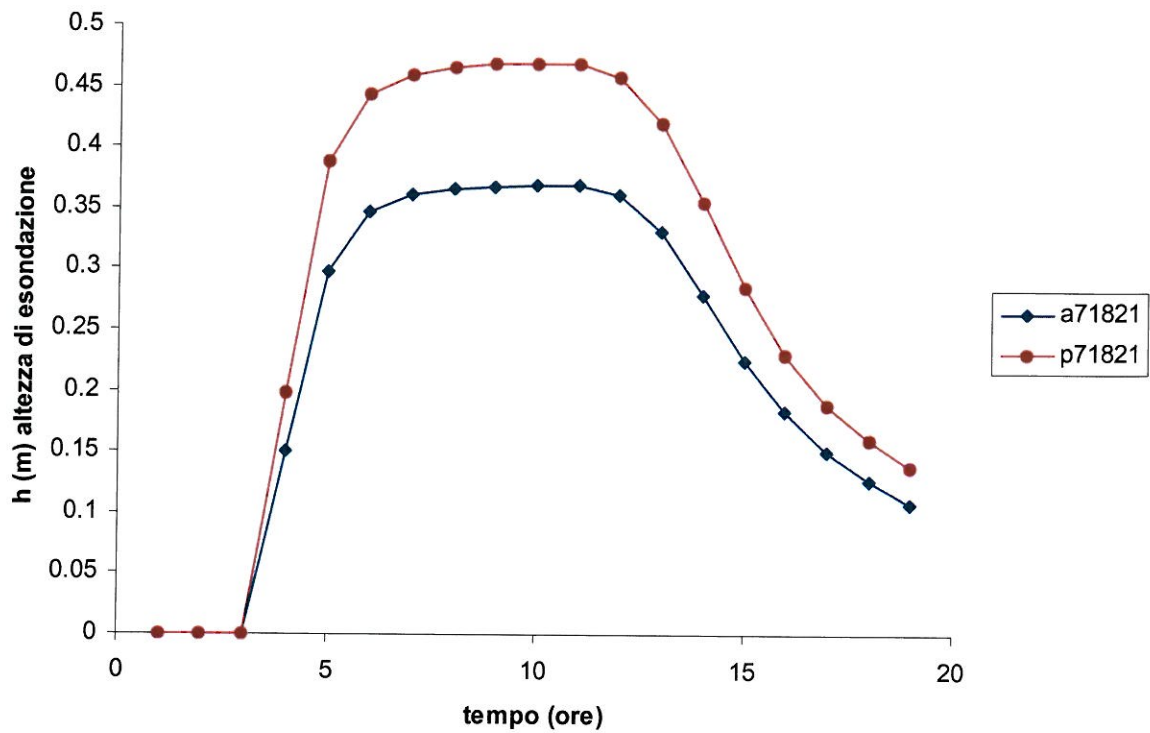
AUTOSICUREZZA E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Per quanto riguarda il problema della autosicurezza, le tavole riportano i valori delle altezze d'acqua di esondazione che si hanno nell'area da cui si evincono i valori dell'altezza del rilevato stradale.

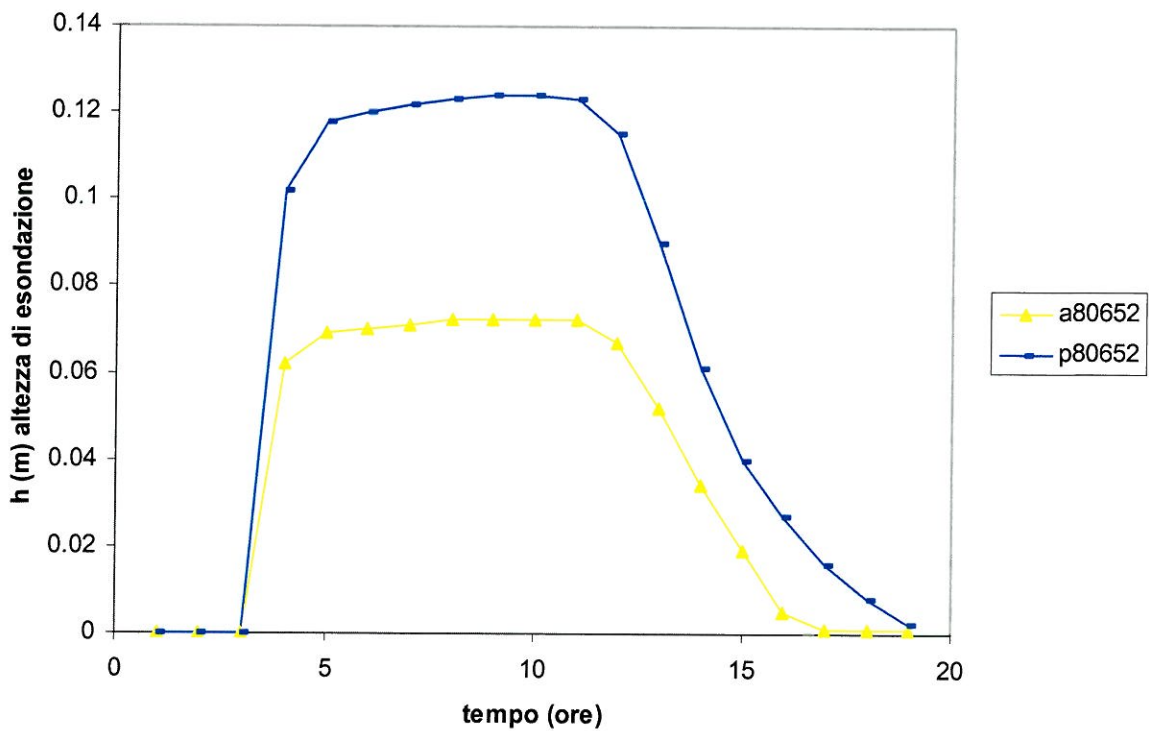
Per quanto riguarda la mitigazione il problema risulta più complesso. Si è visto come la strada abbia un effetto barriera sulla dinamica esondativa. Questo si evince dall'analisi delle figure sotto riportate:



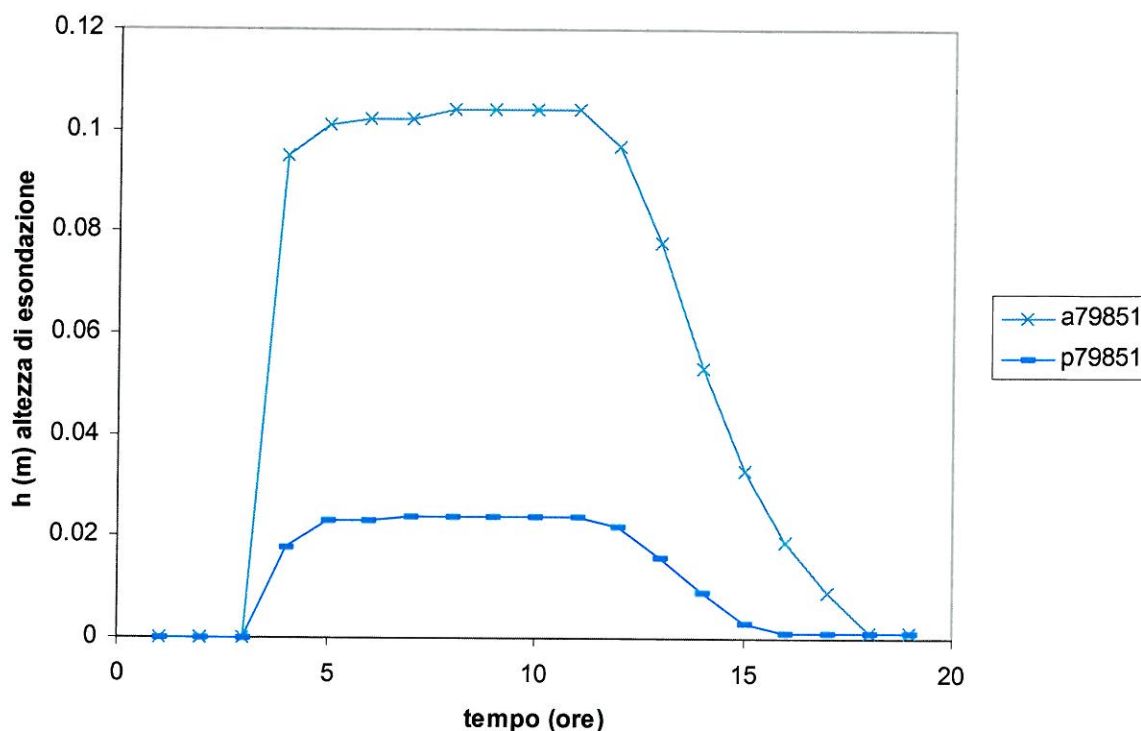
idrogramma di esondazione a monte del rilevato stradale zona est (rosso attuale e verde di progetto).



idrogramma di esondazione a monte del rilevato stradale zona ovest (blu attuale e marrone di progetto).



idrogramma di esondazione avallena nella parte centrale del rilevato stradale (giallo attuale e blu di progetto).



idrogramma di esondazione avale zona est del rilevato stradale (l'idrogramma piu' basso e' riferito allo stato di progetto).

La soluzione che mitiga tale effetto, risulta essere la realizzazione di un canale in grado di smaltire una portata tale da non peggiorare la situazione degli allagamenti in nessun punto dell'area esaminata.

Dal calcolo di tale portata, effettuata considerando le due situazioni attuale e di progetto si e' ottenuto il valore di 1.2 mc/s. Questo significa che risulta necessario realizzare un canale di gronda a monte della strada in grado di smaltire 1.2 mc/s come mitigazione dell'effetto barriera del rilevato stesso.

Quindi il sistema di canali di bonifica deve essere dimensionato per contenere questo ulteriore incremento di portata dovuto alla mitigazione che e' necessario effettuare a seguito della realizzazione del rilevato stradale al fine di non aggravare il rischio idraulico nelle aree a monte del rilevato stesso.

CONCLUSIONI

E' stato eseguito il calcolo idraulico delle esondazioni del F.Arno nella citta' di Pisa con particolare riguardo alla zona dove e' prevista la realizzazione del nuovo rilevato stradale.

Le verifiche effettuate con portate aventi tempi di ritorno fino a 200 anni hanno evidenziato i valori dei battenti idrici nelle aree in studio sia nello stato attuale che nello stato modificato mettendo in evidenza l'aggravio dovuto alla realizzazione del rilevato nelle aree a monte dello stesso.

E' stata quindi prevista l'opera di mitigazione consistente in un canale di gronda che dovra' smaltire una portata di 1.2 mc/s per mitigare l'effetto della costruenda strada.

Pisa, dicembre, 2005

Prof. Ing. Stefano Pagliara

