

COMMITTENTE:



CONTRAENTE GENERALE:



CONTRAENTE GENERALE

nodavia

PROGETTO ESECUTIVO

LINEA FERROVIARIA MILANO-NAPOLI MODULO DI FIRENZE - PENETRAZIONE URBANA LINEA A.V. INTERVENTO A.V.

VARIANTI NON AVENTI RILIEVO LOCALIZZATIVO

(art. 3, comma 3, art. 169, D.lgs 163/2006 e s. m. e i.)

LABORATO: VARIANTE - BYPASS IDRAULICO TORRENTE MUGNONE
ANALISI DELLO SVILUPPO PROGETTUALE
RELAZIONE

ITALFERR		CONTRAENTE GENERALE NO DAVIA SOCIETÀ PER AZIONI VIA SAN BIAGIO, 75 42024 CASTELNOVO DI SOTTO (RE) C.F. e P. IVA 02283090351 TEL. 0522/961111			
	Data				

MESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA :
EW1	40	V	ZZ	RH	IM0007	801	A	

PROGETTAZIONE CONTRAENTE GENERALE: Aspetti generali: POLICREO s.r.l. - Studio GURRIERI ASSOCIATI - AMBIENTE - DURAZZANI - GEOECO Progetti
Strutture - Architettura: SWS Engineering - Studio MAJOWIECKI - OPEN PROJECT - Studio LEMBO-FAZIO - ECI-Eco Consulting Ingegneria
Impiantistica: ANSALDO - BETA PROGETTI - T.e T.I. - TESIFER

is.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autoriz./Data
A	EMISSIONE	BECCHI/GINANNI	20/08/2012	PROF. ING. I. BECCHI	21/08/2012	CAROSSA	22/08/2012	
B								
C								

SISTEMAZIONE DI PROGETTO DEL T. MUGNONE PRESSO S. M. NOVELLA

ANALISI DELLO SVILUPPO PROGETTUALE



per conto di
Nodavia S.C.p.A.

Firenze, 28 febbraio 2012

prof. Ignazio Becchi
professore ordinario
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università degli Studi di Firenze

ing. Filippo Ginanni
dottore di ricerca in ingegneria civile e ambientale
Magnifica s.r.l.
Società d'Ingegneria e servizi integrati

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. LA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL T. MUGNONE NELLA STORIA.....	5
3. IL PROGETTO DI SISTEMAZIONE DEL SOTTOPASSO.....	8
4. LO STUDIO IDRAULICO SU MODELLO FISICO.....	11
5. IL PROGETTO ESECUTIVO.....	17
6. CONCLUSIONI.....	19

1. INTRODUZIONE

Il presente studio illustra le caratteristiche del progetto idraulico di sistemazione del tratto del Torrente Mugnone presso la Stazione ferroviaria di Santa Maria Novella in Firenze, analizzando le varie fasi di approccio, studio e progettazione iniziate ormai 20 anni fa, a seguito del grave evento alluvionale del 1992: in tale occasione emerse l'insufficienza di più tratte del corso del Mugnone, a testimonianza della travagliata storia più avanti sinteticamente descritta.

La pericolosità idraulica del sottopasso ferroviario è tutta condizionata dalla presenza di un lungo tratto coperto separato in 3 fornici estesi circa 266 m: si tratta di un nodo idraulico complesso, presso il quale non risulta verificato il passaggio di portate di piena con elevato tempo di ritorno.

Nel corso della storia alcuni eventi di piena hanno messo in crisi il sottopasso, provocando effetti di rigurgito verso monte che a loro volta hanno incrementato il livello di pericolosità con conseguenti esondazioni.

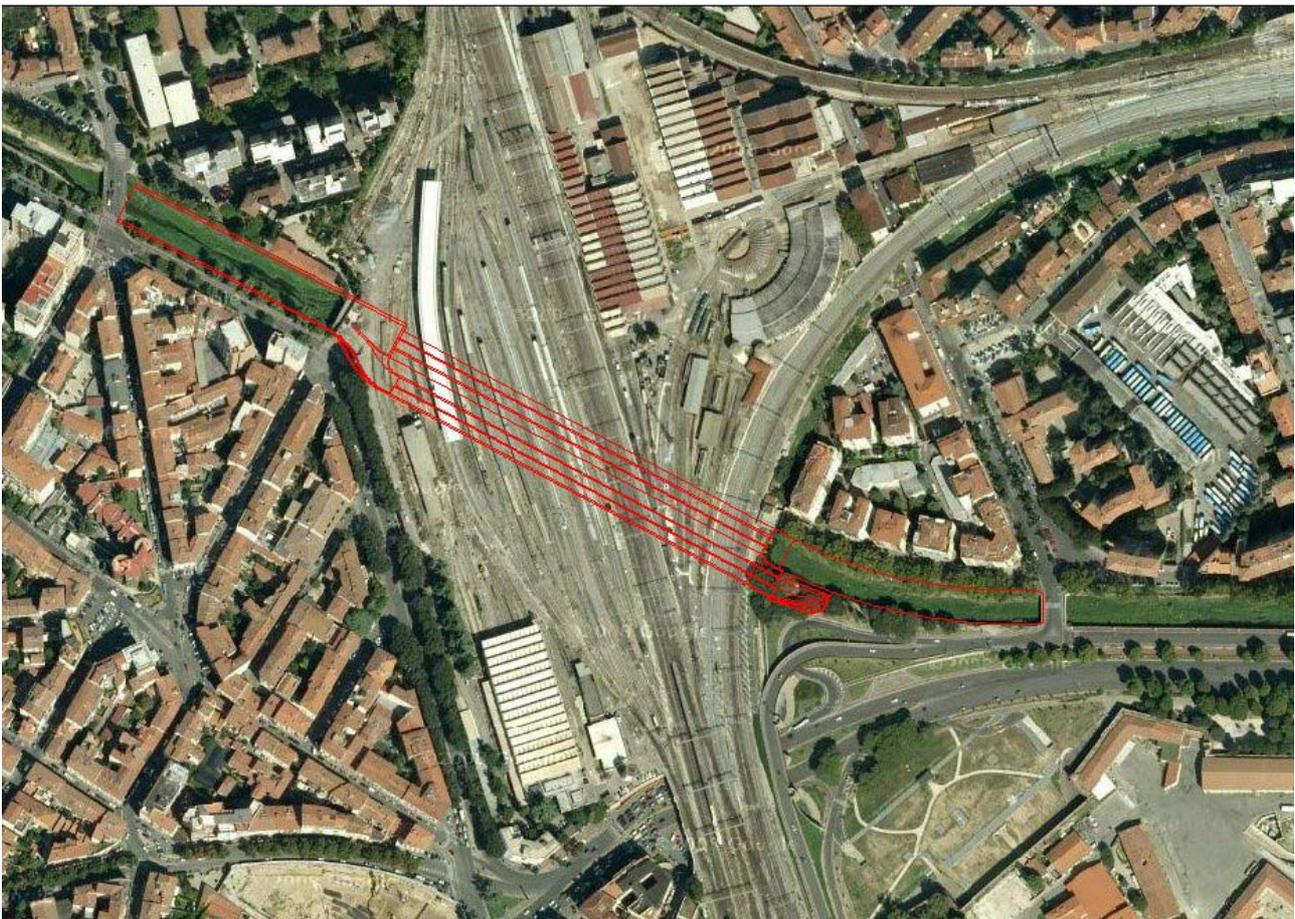


Fig. 1 – Bypass del torrente Mugnone presso S.M. Novella.

Il progetto di sistemazione del nodo idraulico è stato sviluppato da Ferrovie nell'ambito dei lavori inerenti il passaggio dell'Alta Velocità ferroviaria nel capoluogo fiorentino. Il progetto prevede la realizzazione di uno sfioratore laterale a monte del sottopasso ferroviario che alimenta un bypass in

grado di partire le portate di piena, consentendo il deflusso delle portate con tempi di ritorno 100 e 200 anni in condizioni di sicurezza.

Il Progetto degli interventi di sistemazione del nodo ferroviario di Firenze, è stato approvato il 3 marzo 1999 a seguito del parere favorevole degli Enti competenti reso nella Conferenza di Servizi convocata con Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione del 3 dicembre 1998.

Per ciò che attiene al “by-pass” idraulico del torrente Mugnone, nell’ambito di detta Conferenza di Servizi, l’opera ha, fra l’altro, ricevuto parere favorevole da parte del Ministero dei Lavori Pubblici – Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Toscana/Ufficio Speciale Idraulico - con prescrizione di raggiungere l’officiosità idraulica mediante uno studio approfondito anche su modello fisico.

A seguito della summenzionata richiesta, espressa nell’ambito della Conferenza dei Servizi del 1999, l’intero progetto fu sottoposto a verifiche idrauliche sviluppate dal Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze (2004-2005) mediante l’esecuzione di una serie di simulazioni fisiche su modello in scala che, nel rispetto della soluzione e dei vincoli imposti dalla Conferenza dei Servizi, consentirono di perfezionare gli elementi principali costituenti l’opera.

2. LA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL T. MUGNONE NELLA STORIA

Il Torrente Mugnone da sempre ha presentato per la città di Firenze una “minaccia idraulica” che ancora recentemente si è manifestata con pesantezza. Dalla fine della seconda guerra mondiale a oggi possiamo annoverare due fenomeni di esondazione (1959 e 1992) che hanno prodotto sensibili danni.

Può essere culturalmente significativo ricostruire nei secoli la storia delle evoluzioni e delle reciproche pressioni. E' noto che Firenze venne fondata nel 1° secolo D.C. come castrum di riferimento per una centuriazione nel medio Valdarno allo scopo di insediare una certa quantità di legionari. A quel tempo rispetto alla città romana che ricopriva il comparto compreso tra l'Arno, via Tornabuoni, via de' Pecori, via del Proconsolo, il Mugnone scorreva a oriente confluendo nell'Arno in prossimità dell'attuale piazza Mentana che all'epoca consisteva in una sorta di padule dove venne situato il porto che ancora fino al 1800 rappresentò il terminal di arrivo delle legna inviate per fluitazione dell'alta valle del fiume.

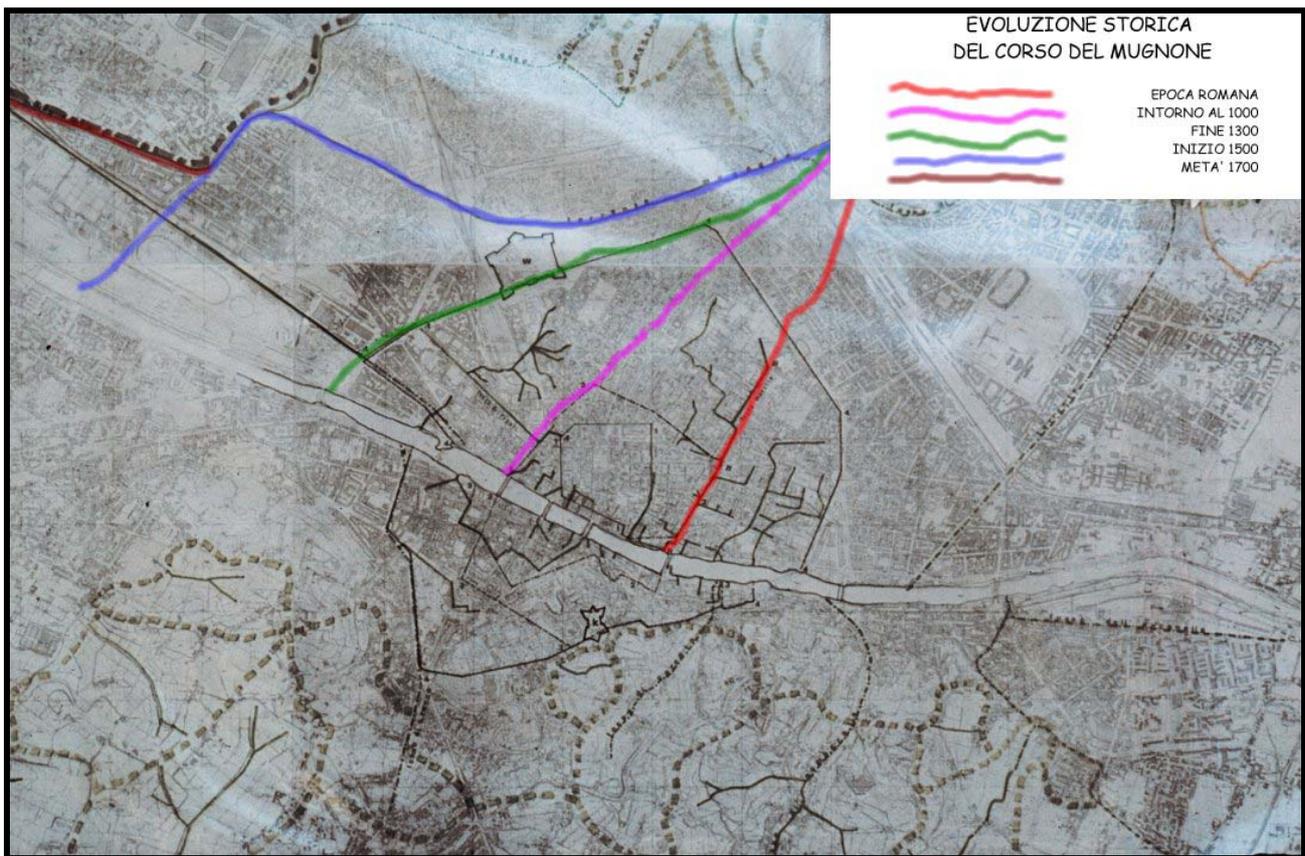


Fig. 2 - Variazioni storiche del corso del Fiume Mugnone dall'origine (epoca romana) a oggi, messe a confronto con i residui di corsi d'acqua sepolti o scoperti.

All'epoca della cerchia del 1200, detta cerchia Dantesca, troviamo già il Mugnone scorrere a ovest della città, deviato forse intorno al 1000 per evitare i danni che periodicamente aveva procurato di

manifestare, molto probabilmente il suo percorso era in frodo alle mura lungo il percorso oggi regnato segnato da via de' Fossi.

Nel 1300, con lo sviluppo del nuovo tracciato di mura, dette di Arnolfo, il Mugnone viene condotto lungo gli attuali viale Spartaco Lavagnini e Belfiore, per sfociare in Arno all'altezza del ponte alla Vittoria.

Successivamente, all'alba del 1500, nel corso della realizzazione della Fortezza da Basso sembra con il concorso progettuale di Michelangiolo, il corso del Mugnone viene ulteriormente deviato tramite la larga curva che lo portava a confluire in Terzolle, praticamente come ora lungo viale Francesco Redi.

Più tardi, verso la metà del 18° secolo, per la realizzazione della tenuta delle Cascine, i due torrenti (Mugnone e Terzolle) sono stati condotti a confluire in Arno come ora nella località detta all'Indiano.

La complessa storia e l'evoluzione che ne ha conseguito dal punto di vista del rischio idraulico non ha mai cessato di offendere la Città con fenomeni alluvionali che si sono manifestati su tutta la cerchia della conoide del Mugnone da Borgo Pinti fino alla via Faentina.

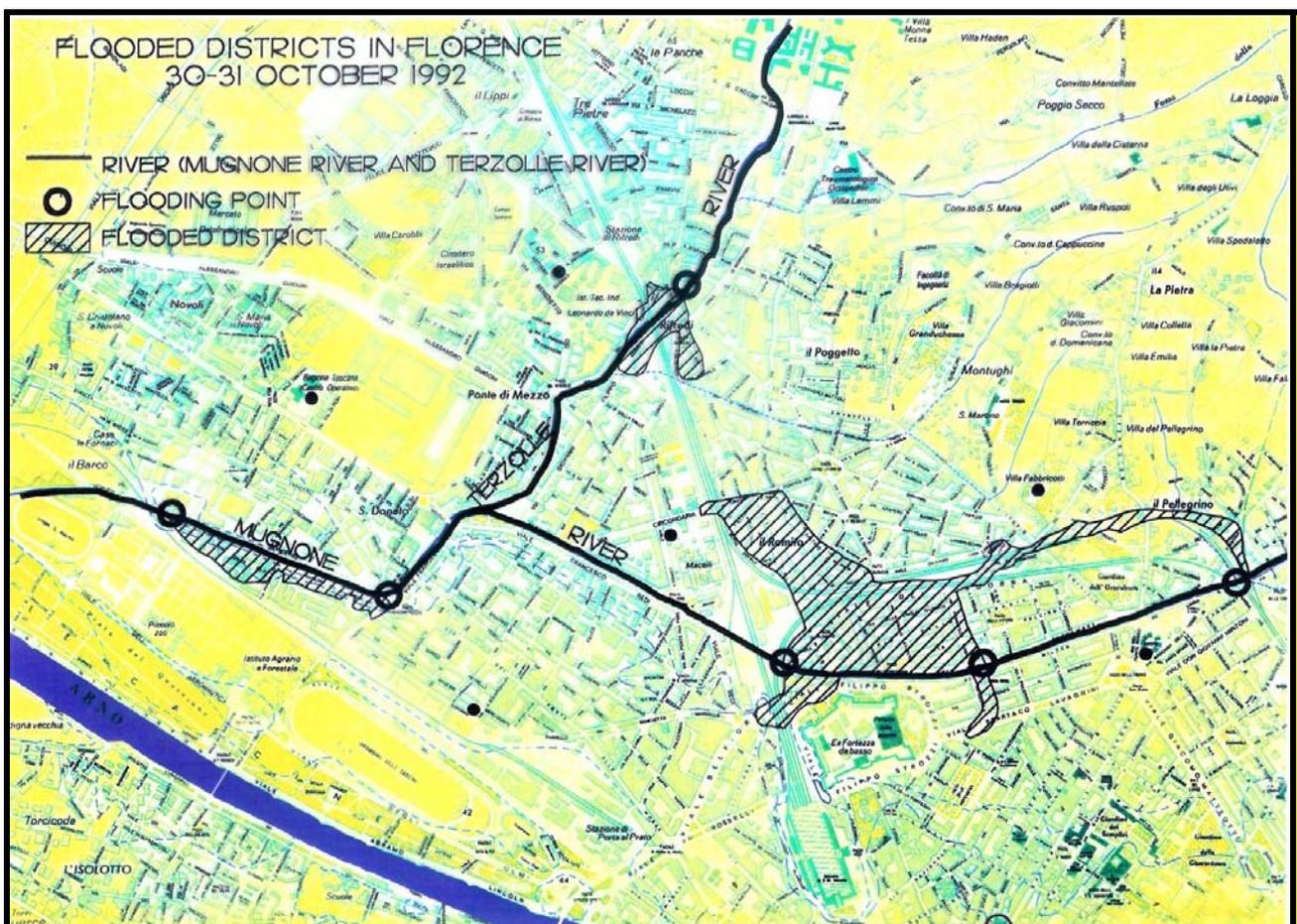


Fig. 3 - Le zone di Firenze allagate dall'alluvione del 1992.

Per avere una precisa cognizione del rischio che è connesso a questo torrente bisogna ripercorrere la storia di queste continue “spinte” e quindi intendere che il suo tracciato è assolutamente “artificiale” e che vi sono una serie di “insufficienze” che col passar del tempo sono diventate insostenibili.

A titolo di testimonianza di ciò si rammenta che le ultime opere di sistemazione reale del Mugnone corrispondono con i lavori di Giuseppe Poggi per Firenze Capitale e con essi risulta che il muraglione che divide il corso del Mugnone dal territorio della Città è un’opera idraulica classificata (di 2^a categoria) mentre l’argine che lo fronteggia non risulta assolutamente classificato, ciò solo a testimonianza della sinecura che dagli anni '20 ha contrassegnato queste opere, ma nel frattempo le forze idrometeoriche non hanno dormito, chi scrive ha trovato traccia di lavori per sistemare ed alleggerire il comparto che oggi prende il nome di Romito e che anche nell’ultima alluvione, del 1992, è stato il punto di maggior danno.

3. IL PROGETTO DI SISTEMAZIONE DEL SOTTOPASSO

Proprio a seguito dell'alluvione del 19 ottobre 1992, è emersa con forza l'insufficienza del tracciato del Torrente Mugnone per tutto il percorso che dal ponte del Romito porta fino all'Arno. A titolo documentativo le portate stimate per i diversi tempi di ritorno nel corso dell'indagine sull'alluvione sono risultate

PORTATE	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
[mc/s]	165	195	220	252

mentre la portata transitabile nella configurazione attuale risulta al massimo pari a 120 mc/s.

Quindi si può affermare che il restringimento prodotto dal ponte della ferrovia collegante alla stazione di S. Maria Novella è insufficiente essendo inferiore alla Q₂₀, ovvero alla portata con tempo di ritorno o di ripetizione di venti anni; considerato che tale ponte ha una configurazione che risale al 1937 e che da allora si sono verificate due alluvioni importanti, i calcoli statistici risultano del tutto confermati.

Su richiesta esplicita del Provveditorato Regionale ai Lavori Pubblici viene eseguito uno studio generale delle problematiche presentate del Fiume Mugnone nell'occasione dell'alluvione del 19-20 ottobre 1992: detto studio mette in luce una serie di insufficienze d'alveo a partire dal ponte ferroviario sulla così detta linea lenta in prossimità delle Cure fino allo storico ponte al Barco in prossimità del Parco delle Cascine, ma di tutte queste insufficienze quella del ponte ferroviario di raccordo con la stazione di S. Maria Novella è senza dubbio la più ristretta e di difficile correzione.

Con decreto del 3 dicembre 1998 del Ministero dei Trasporti e della Navigazione viene indetta una Conferenza dei Servizi per la valutazione e l'approvazione dei progetti relativi al passante ferroviario AV nel nodo di Firenze, tra i cui esiti è riportato un "Protocollo d'intesa per la redazione delle progettazioni relative agli interventi finalizzati all'adeguamento idraulico del Torrente Mugnone nel tratto cittadino tra l'attraversamento ferroviario della stazione di S. Maria Novella e lo sbocco in Arno in Comune di Firenze tra: Regione Toscana, Ministero dei Lavori Pubblici, Provveditorato alle OO.PP. per la Toscana. Autorità di Bacino del Fiume Arno, Comune di Firenze, Ferrovie dello Stato S. p. A. e TAV- Treno Alta Velocità S.p.A.".

In data 15/12/1998 il Provveditorato Regionale per le OO.PP. della Toscana esprime un voto favorevole alla realizzazione tra l'altro del by-pass per il collegamento ferroviario con la stazione, raccomandando che detta opera fosse oggetto di "studio approfondito sia del by-pass stesso che dei suoi raccordi di monte e di valle con il corso d'acqua".

La Conferenza dei Servizi ribadisce e convalida questo voto raccomandando anche la criticità delle operazioni da intraprendere visto l'elevato rischio idraulico esistente.

Ferrovie si fa carico di realizzare un progetto generale delle opere che ricomprende la sistemazione dell'alveo del Mugnone nelle tratte insufficienti nonché la ristrutturazione dei ponti troppo stretti, così il ponte della linea Leopolda in prossimità del Barco e quello del raccordo di S. M. Novella. Per quest'ultimo, data la criticità e l'importanza storica, l'unica soluzione adottabile è risultata un by-pass, come peraltro emerso dalla conferenza di servizi che ha riconosciuto come unica alternativa questa ipotesi, non essendo percorribili altre soluzioni, vuoi per le ristrettezze di spazio vuoi per i limiti di quota, anche a causa dei citati spostamenti storici dell'alveo che hanno ristretto definitivamente gli spazi fruibili.

Il progetto prevede la realizzazione di una soglia di sfioro laterale a monte del sottopasso ferroviario: lo sfioratore, posto in sinistra idraulica, alimenta un bypass a due fornici, che correndo parallelamente alle tre canne del sottopasso ferroviario si reimmette nell'alveo del Mugnone quando questo torna a cielo aperto.

Nel progetto Ferrovie si prevede la risagomatura dell'alveo sia a valle del sottopasso ferroviario che a monte con una sezione doppia trapezia con sponde sub-verticali e con alveo inciso centrale. Rispetto al fondo attuale viene eliminata la savanella laterale per il deflusso delle portate di magra e viene inserito un salto di fondo mediante taglione.

Il progetto in questione ha cercato di ottimizzare l'ingombro delle opere con la funzionalità idraulica del by-pass. In tal maniera si è ridotto al minimo il numero delle piante arboree da eliminare. Per aumentare al massimo la funzionalità idraulica dell'opera è stata realizzata una serie di prove su modello che ha comportato alcune variazioni alla geometria interna dell'opera di by-pass ma senza aumentare l'ingombro esterno e quindi l'impatto paesaggistico.

Rispetto alla geometria del progetto gli studi condotti hanno consentito di aumentare l'efficienza in maniera soddisfacente anche considerando le ristrettezze spaziali già menzionate.

4. LO STUDIO IDRAULICO SU MODELLO FISICO

Nel 2004 Ferrovie commissionò al Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze la verifica della funzionalità idraulica del progetto di sistemazione del bypass del T. Mugnone presso S.M. Novella. Il tratto realizzato in scala rappresentava circa 600 m al vero, riproducendo la geometria del Torrente Mugnone da valle del Ponte al Romito fino a monte del Ponte all'Asse, in condizioni di stato attuale e di progetto.

IL MODELLO

Il modello fu progettato in similitudine di Froude, in scala geometrica isotropa 1:36.

La realizzazione del modello fu eseguita in PoliMetilMetAcrilato, comunemente conosciuto come plexiglas. L'impiego del plexiglas assicura un'elevata precisione nella realizzazione dei particolari geometrici, quindi consente lavorazioni fini rispetto al cemento mentre rispetto al legno limita le dilatazioni e non ha perdite per assorbimento. Inoltre, grazie alla trasparenza propria del materiale si ha una visione planimetrica e altimetrica delle condizioni di deflusso della corrente che permette, ad esempio, l'osservazione tridimensionale di fenomeni localizzati.

Le scabrezze furono calcolate e tarate tramite simulazioni su modello numerico, sulla base di quelle fornite nello studio di Ferrovie. L'analisi tenne conto delle indicazioni progettuali fornite dal Ferrovie per quanto riguarda le configurazioni geometriche di progetto e delle condizioni correnti dell'alveo per quanto riguarda invece le simulazioni allo stato attuale.

In entrambi i tratti coperti, sottopasso ferroviario e bypass, furono adottate pareti lisce.

Per tutte le portate di piena simulate si verificarono condizioni di moto assolutamente turbolente, sia lungo l'alveo che presso la soglia dello sfioratore.

Nella configurazione "attuale" si aveva un primo tratto a sezione irregolare, caratterizzato da una savanella in sinistra idraulica per il deflusso delle portate di magra. Quindi seguiva il sottopasso ferroviario, costituito da 3 fornici a sezione pressoché uguale. A valle di questo le acque proseguivano nella geometria di progetto che prevedeva una sezione di tipo rettangolare con una zona centrale di alveo inciso.

Nella configurazione di progetto si aveva una sezione di tipo doppia trapezia con sponde sub-verticali e savanella centrale di magra per tutti i tratti a cielo aperto e un bypass coperto costituito da due canne disposte parallelamente al sottopasso ferroviario: il tratto di valle rimaneva nelle stesse condizioni della configurazione prevista nel Progetto Definitivo di Adeguamento idraulico del Torrente Mugnone dal sottopasso ferroviario del Romito sino alla confluenza in Arno. Il bypass risultava alimentato da uno sfioratore laterale a soglia fissa posto a monte del sottopasso ferroviario e si ricongiungeva con l'alveo principale al termine dei tre fornici. La soglia di sfioro si estendeva, al vero, per 32 m ed era caratterizzato da un profilo Scimeni.

Lo sfioratore entrava in funzione quando il livello idrico raggiungeva quote superiori alla soglia di sfioro, influenzato in piccola parte dal rigurgito che si instaurava a monte del sottopasso.



Foto 5 – Sfiatore laterale di alimentazione al bypass secondo progetto Ferrovie.

Il moto riprodotto nel modello era di tipo permanente con correnti in regime assolutamente turbolento, come avviene al vero in condizioni di piena.

LE CONDIZIONI IDRAULICHE

Nella fase di sperimentazione furono presi in considerazione 4 valori di portata, secondo quanto indicato da Ferrovie S.p.a., in condizioni di corrente lenta in regime di moto permanente. Le portate si riferivano a tempi di ritorno pari a 20, 50, 100 e 200 anni corrispondenti ai valori riportati in tabella.

PORTATE	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
Portata al vero [mc/s]	165	195	220	252
Portata modello [l/s]	21.22	25.08	28.29	32.41

Ad ogni portata fu associata una condizione di valle, sulla base delle simulazioni numeriche effettuate da Ferrovie S.p.a.: tali elaborazioni, svolte con l'ausilio del software Hec Ras (della U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center), interessarono tutto il corso d'acqua ed assunsero come condizioni di valle i livelli idrici del fiume Arno, presso la confluenza con il torrente Mugnone.

L'esecuzione delle simulazioni su modello verificò in buona parte i livelli previsti nelle simulazioni numeriche, confermando dunque la validità delle condizioni al contorno imposte e la scelta della scabrezza.

LE SIMULAZIONI

Il modello permise la verifica di 11 configurazioni geometriche differenti, variando il posizionamento dello sfioratore e la geometria d'alveo a monte del sottopasso ferroviario. Furono simulati ben 40 eventi di piena, per la maggior parte dei quali furono effettuate registrazioni video per la definizione del campo di moto superficiale nelle zone di imbocco e sbocco. Le prove eseguite sul modello fisico idraulico in similitudine di Froude misero in evidenza diversi aspetti.

In primo luogo, a causa dell'elevata tridimensionalità dei moti, si è evidenziò come il modello stesso potesse consentire un notevole affinamento delle condizioni del deflusso che nella normale simulazione numerica non sarebbe stato possibile ottenere.

A seguito delle diverse condizioni e configurazioni impiegate risultò che l'opera, come da progetto, consentiva di fornire il risultato richiesto di permettere il transito fino alla portata duecentennale, sia pure con limitazioni alla disponibilità di franco. Risultò peraltro che un ulteriore affinamento dei particolari geometrici avrebbe potuto consentire di migliorare le condizioni generali del deflusso, in particolare studiando opportune soluzioni per quanto concerne la geometria della soglia sfiorante che alle prove era risultata particolarmente critica.

Per quanto concerne il posizionamento dello sfioratore, in base alle simulazioni fatte nei due stati di progetto, risultò preferibile la situazione prevista nella prima configurazione: l'avvicinamento dello sfioratore al sottopasso ferroviario aveva infatti fatto registrare un minor transito di portate nel bypass. L'ubicazione finale della soglia di sfioro riportata nel Progetto Definitivo redatto da Ferrovie (situazione di progetto 2) è stata condizionata dall'attuale assetto viario nell'area in esame ed anche dagli interventi di sistemazione idraulica in corso di realizzazione.

Le simulazioni misero inoltre in evidenza come il salto previsto nello stato di progetto a monte del sottopasso ferroviario risultasse deprimere il livello idrico della corrente in prossimità dello sfioratore, diminuendo quindi l'efficacia dell'opera: per ovviare a tale inconveniente fu proposto di rastremare la superficie di fondo.

Infine, per quanto riguarda il setto, inserito nella zona di sbocco del bypass, al confronto con le simulazioni effettuate a parità di condizioni ma in assenza dell'elemento separatorio, fu osservata una riduzione del deflusso delle portate nel bypass, dovuta ad una più difficile condizione di sbocco. Tale elemento, così come previsto, fu quindi ritenuto idraulicamente svantaggioso.

In linea generale la realizzazione di un bypass sul torrente Mugnone, alimentato da uno sfioratore laterale a soglia fissa, risultava consentire il passaggio delle portate di piena duecentennali, sia pure con franchi limitati: furono comunque ritenuti auspicabili ulteriori affinamenti di dettaglio della configurazione prevista tesi ad ottimizzare ulteriormente la capacità di sfioro della configurazione di progetto.

SCHEMA RIASSUNTIVO RISULTATI SIMULAZIONI

Configurazione	Portata simulata [mc/s]		% Portata sfiorata	Livello idrico monte del sottopasso Romito [m s.l.m.]	Livello idrico valle del sottopasso Romito [m s.l.m.]
1° config. progetto, con setto	Q20	166.02	10.5	48.79	46.78
	Q50	194.24	12.2	49.01	47.20
	Q100	218.35	15.1	49.03	47.64
	Q200	254.2	15.0	49.40	48.86
1° config. progetto, senza setto	Q20	165.78	12.0	48.75	46.95
	Q50	194.01	16.1	48.79	47.33
	Q100	218.66	18.2	48.98	47.61
	Q200	254.2	19.9	49.37	48.62
2° config. progetto, con setto	Q20	165.24	4.5	48.59	46.63
	Q50	194.48	10.8	48.78	47.05
	Q100	218.12	12.2	48.83	47.48
	Q200	253.42	17.2	49.25	48.77
2° config. progetto, senza setto	Q20	165.71	5.7	48.59	46.56
	Q50	194.63	11.0	48.80	47.05
	Q100	218.66	14.9	48.94	47.49
	Q200	253.65	17.3	49.27	48.77
2° config. progetto, modificata, con setto	Q20	163.92	6.2	48.69	46.59
	Q50	194.48	8.1	48.85	47.08
	Q100	219.21	11.3	49.07	47.63
	Q200	251.86	16.5	49.41	48.87
2° config. progetto, modificata, senza setto	Q20	164.46	6.1	48.71	46.58
	Q50	196.03	10.9	48.90	47.09
	Q100	219.36	14.6	49.02	47.59
	Q200	253.26	16.9	49.39	48.79
stato monte attuale, sfioratore 2, con setto	Q20	166.8	2.9	48.44	46.40
	Q50	194.01	5.1	48.60	46.86
	Q100	219.44	8.7	48.83	47.27
	Q200	252.56	12.1	49.14	48.59
stato monte attuale, sfioratore 2, senza setto	Q20	166.87	3.7	48.58	46.53
	Q50	195.88	6.4	48.65	46.67
	Q100	220.45	9.5	48.81	47.19
	Q200	253.03	11.4	49.12	48.61
2° config. progetto, solo Mugnone	Q20	165.4		48.67	45.95
	Q50	195.1		49.04	46.45
	Q100	221.54		49.34	46.93
	Q200	253.42		49.68	48.60
stato monte attuale, solo Mugnone	Q20	166.8		48.54	45.83
	Q50	194.01		48.65	46.83
	Q100	220.76		48.97	46.95
	Q200	252.56		49.21	48.40

LE MIGLIORIE

Gli esiti della modellazione fisica sviluppata nel corso del 2004, come già visto, avevano evidenziato la possibilità di effettuare alcune migliorie di dettaglio finalizzate sostanzialmente ad ottimizzare ulteriormente la capacità di sfioro della configurazione di progetto.

Nel corso del 2005 fu pertanto allestito un nuovo modello fisico le cui configurazioni riguardarono accorgimenti geometrici proposti da Ferrovie e dal Dipartimento di ingegneria Civile sia allo sbocco che all'imbocco del bypass, per ottimizzarne la capacità di deflusso a seguito dei risultati ottenuti nelle precedenti simulazioni.

Le indicazioni di Ferrovie riguardarono in particolare, in riferimento alla tornata di prove del 2004, il posizionamento dello sfioratore a ridosso del sottopasso e l'assenza del setto allo sbocco tra le due canne del bypass.

Più articolati furono gli accorgimenti indicati dal Dipartimento di Ingegneria.

La soglia dello sfioratore fu infatti portata dai previsti 48.36 m s.l.m. a 47.60 m s.l.m. in modo da consentire una maggiore partizione delle portate a favore del bypass. La cassa di sfioro fu ridotta creando una sorta di canale a fondo concavo che raccordandosi alla soglia convogliasse tramite curvature a diverso raggio le portate sfiorate verso le canne. Lo scopo di questo intervento era quello di eliminare le aree di ristagno e diminuire le zone vorticose, incrementando la velocità nelle canne a fronte di una diminuzione dei fenomeni dissipativi.

A seguito di questi accorgimenti si registrò un aumento delle portate sfiorate, che rimase comunque sempre dipendente dalla condizione di valle e dalla pendenza esigua delle due canne del bypass.

Per favorire il deflusso a valle dello sbocco fu posto in opera un setto di separazione tra le portate uscenti dal bypass e quelle che attraversano l'attuale sottopasso. Lo scopo era quello di convogliare le portate del bypass nell'alveo del Mugnone riducendo l'impatto tra le due correnti che altrimenti dava luogo a rigurgito sul bypass. L'introduzione di questo elemento, non più tra le due canne del bypass come nella precedente tornata di misure ma a separazione tra le canne del Mugnone e quelle del bypass (cfr. fig. 6), avvenne con un modulo base e altri tre componibili, in modo da valutare l'estensione ottimale per la funzionalità idraulica. Le simulazioni misero in evidenza la necessità di ridurre al minimo il modulo mostrando effetti di rigurgito nel sottopasso Mugnone, dovuti al restringimento di sezione provocato subito a valle dello sbocco.

Con la presenza del setto e degli accorgimenti alla zona di sfioro si raggiunse per la portata duecentennale una partizione del 25% sul bypass e il restante nel Mugnone, conseguendo dunque un aumento consistente rispetto alle precedenti configurazioni.

Una serie di simulazioni fu poi eseguita apponendo la copertura del Mugnone in corrispondenza dell'area ferroviaria di S.M. Novella, secondo il rilievo dell'intradosso dell'impalcato attualmente presente. Questa configurazione mostrò come il moto all'interno dei tre forni del Mugnone fosse

prossimo ad andare in pressione, ma senza raggiungere tale stadio. Si è osservò infatti come il pelo libero lambisse l'impalcato, annullando qualsiasi franco di sicurezza, ma senza innescare passaggi in pressione. Il rigurgito indotto dall'impalcato per la diminuzione di sezione libera nelle canne del Mugnone favoriva un maggiore sfioro nel bypass che a sua volta rallentava la corrente principale nella zona di sbocco mentre la condizione generale del deflusso per le massime portate rimaneva comunque limitata a causa del rigurgito di valle provocato dal Ponte all'Asse.

Tale configurazione risultò avere influenze positive sul deflusso delle portate nel bypass, portando la percentuale di portate sfiorate a quasi il 30% della portata duecentennale.

Un ulteriore accorgimento con conseguente serie di simulazioni avvenne per ottimizzare la ripartizione delle portate sfiorate nelle due canne del bypass: furono posti due deflettori nella zona di vortice a monte del bypass al fine di convogliare maggiori portate nella canna destra (interna). Tale soluzione permise di raggiungere l'obiettivo preposto (rapporto portate pari a circa 2:1 a favore della canna destra in condizioni di portata duecentennale) favorendo così anche il deflusso nella zona di sbocco e reimmissione della corrente bypass in quella del Mugnone. Si raggiunse e di poco superò la soglia del 30% di portate sfiorate, rispetto alla portata con tempo di ritorno 200 anni. In definitiva, per quanto numericamente vantaggioso, il beneficio dei deflettori era trascurabile dal punto di vista pratico, tanto che non fu considerato un accorgimento per cui valesse la pena provvedere.

In termini di franchi di sicurezza, nella condizione ottimizzata si registrò un franco che oscillava tra 70 e 80 cm con portata centennale nella zona più critica del sottopasso Mugnone, mentre si annullava con il passaggio di portate duecentennali. Nel bypass i franchi furono invece maggiori sia per la portata centennale che per quella duecentennale in quanto si raggiungevano al minimo (sulla Q200) franchi di 60-70 cm per arrivare a oltre 1 metro con portate centennali.

Altresì dallo studio idraulico su modello si evinse in maniera chiara che il presupposto essenziale che vincola il nodo idraulico è la condizione di deflusso nel tratto coperto del torrente Mugnone.

In definitiva dunque, mediante una serie coordinata di accorgimenti geometrici sia nella cassa di sfioro che nella zona di sbocco, fu ottenuto una migliore capacità di deflusso nel bypass, riducendo molte delle zone soggette alla presenza di vortici dissipativi: in termini idraulici si raggiunse una partizione della portata duecentennale che vedeva un deflusso nelle due canne del bypass di circa il 30% del totale immesso, quasi raddoppiando dunque i risultati ottenuti nella tornata di prove del 2004.

I risultati ottenuti, in quanto vincolati a caratteristiche geometriche non modificabili (pendenza del bypass, posizionamento dello sfioratore, zona di reimmissione del bypass,...) per esigenze di natura diversa da quella idraulica, furono e tutt'oggi sono da considerarsi alquanto soddisfacenti, in considerazione anche delle basse portate sfiorate registrate nelle precedenti configurazioni (2004).

5. SVILUPPI PROGETTUALI SUCCESSIVI ALLE PROVE SU MODELLO

Gli sviluppi progettuali successivi allo studio su modello fisico (vale a dire il Progetto Definitivo di Ferrovie posto a base gara ed il Progetto Esecutivo di 1° Livello curato dal Contraente Generale, Nodavia) sono conformi agli esiti del processo progettuale ed autorizzatorio sopra descritto ed hanno ottenuto l'omologazione idraulica da parte del Genio Civile della Regione Toscana nell'agosto 2009.

In particolare il progetto nel dettaglio ha cercato di valorizzare le componenti paesaggistiche, andando a ridurre al minimo gli ingombri delle necessarie opere idrauliche, a favore di una maggiore conservazione dell'attuale contesto urbanistico-ambientale.

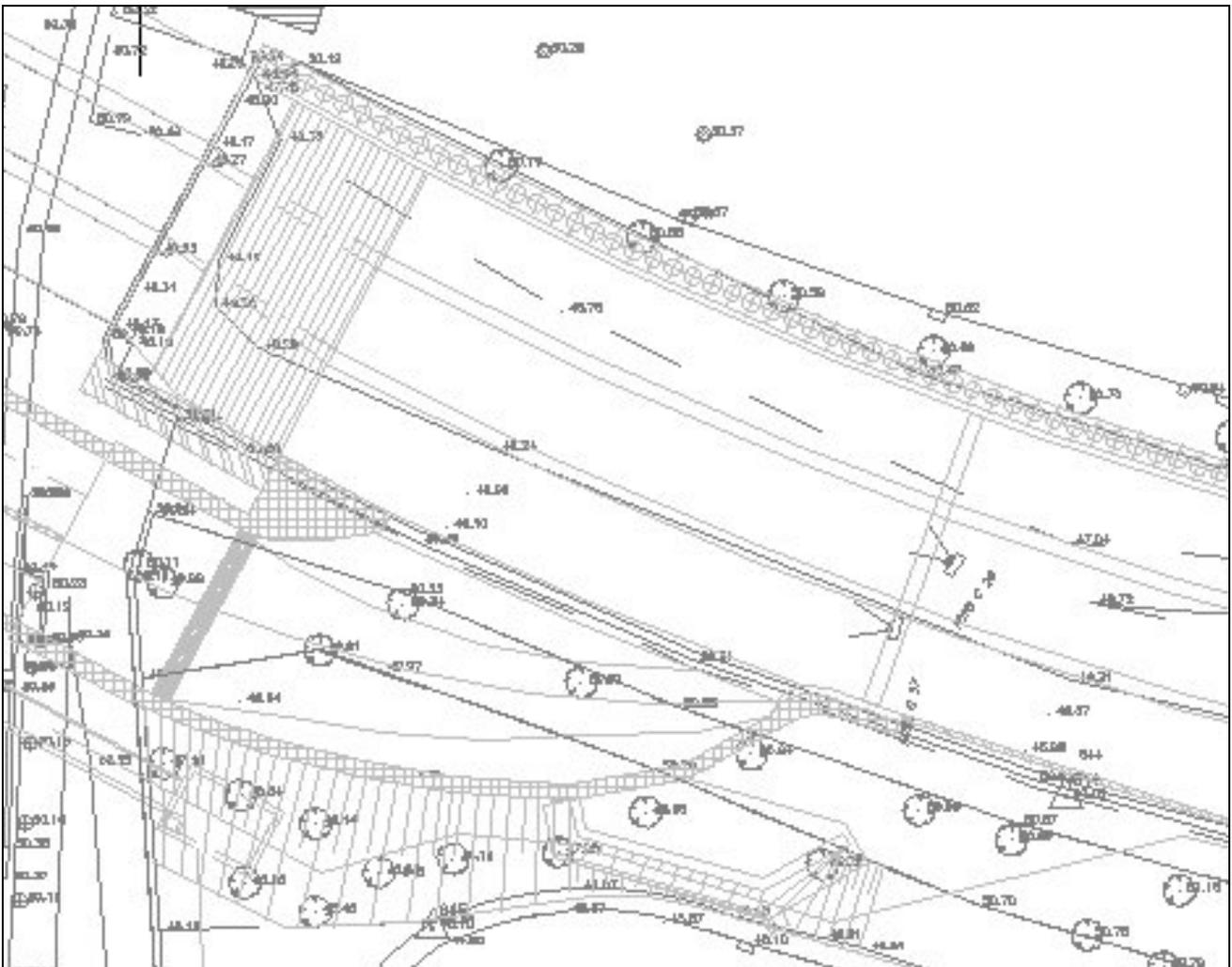


Fig 6 – Planimetria di progetto presso la zona di imbocco al bypass.

Gli sforzi maggiori in questo senso sono stati fatti nella zona d'imbocco dove è stata ottimizzata la posizione dello sfioratore avvicinandolo il più possibile all'inizio dell'attuale tratto coperto. Inoltre, sulla base delle indicazioni fornite a seguito delle simulazioni idrauliche su modello, la cassa di sfioro è stata ridotta negli ingombri e progettata secondo geometrie più curvilinee, idrodinamicamente più vantaggiose e in maggior armonia con il contesto paesaggistico.

Particolare attenzione è stata posta in destra idraulica nel cercare di non sostituire le attuali essenze arboree, limitando l'intervento agli ingombri attuali mediante scelte tecniche esecutive tese a salvaguardare la presenza delle piante di altro fusto.

In maniera analoga è stato operato nella zona di sbocco, dove il contesto urbanistico-ambientale risulta meno critico grazie agli spazi, già allo stato attuale, disponibili per ospitare le opere di progetto.

In questa zona il progetto è stato affinato prevedendo la creazione di un setto che separi le acque transitanti il sottopasso originario da quelle uscenti dal bypass: con questo accorgimento è stata verificata una maggiore efficienza idraulica e una riduzione degli ingombri planimetrici.



Fig. 7 – Planimetria di progetto presso la zona di sbocco al bypass.

6. CONCLUSIONI

Il nodo idraulico del tratto del Torrente Mugnone presso la Stazione ferroviaria di Santa Maria Novella in Firenze, a causa della presenza di un lungo tratto di corso d'acqua coperto (quasi 300 m), costituisce, per la città di Firenze, una elevata criticità nelle dinamiche di deflusso delle portate di piena, in grado, come già nella storia successo ripetutamente, di mettere a rischio e di inondare vaste aree urbane.

Il progetto di sistemazione del nodo è stato sviluppato da Ferrovie nell'ambito dei lavori inerenti il passaggio dell'Alta Velocità ferroviaria nel capoluogo fiorentino. Il progetto prevede la realizzazione di uno sfioratore laterale a monte del sottopasso ferroviario che alimenta un bypass in grado di partire le portate di piena, consentendo il deflusso delle portate con tempi di ritorno fino a 200 anni.

L'intervento non è strettamente localizzato, ma si inserisce in un più ampio contesto di risistemazione di buona parte del tratto cittadino del corso d'acqua, affinché sia conseguita una configurazione di contenimento delle portate di piena con alto tempo di ritorno all'interno della sede fluviale, preservando così il tessuto urbano della città.

Il Progetto degli interventi di sistemazione in oggetto è stato approvato il 3 marzo 1999 a seguito del parere favorevole degli Enti competenti, reso nella Conferenza di Servizi convocata con Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione del 3 dicembre 1998.

Nell'ambito di tali interventi è stata prevista anche la realizzazione del "by-pass" idraulico del torrente Mugnone, che ha, fra l'altro, ricevuto parere favorevole da parte del Ministero dei Lavori Pubblici – Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Toscana/Ufficio Speciale Idraulico - con prescrizione di raggiungere l'ufficiosità idraulica mediante uno studio approfondito anche su modello fisico.

A seguito di tale richiesta, espressa nell'ambito della Conferenza dei Servizi del 1999, l'intero progetto del by-pass è stato sottoposto a verifiche idrauliche sviluppate dal Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze (2004-2005) mediante l'esecuzione di una serie di simulazioni fisiche su modello in scala.

Il progetto Definitivo ed il Progetto Esecutivo sono stati quindi sviluppati in maniera conforme agli esiti del processo progettuale ed autorizzatorio sopra descritto, ed hanno ottenuto nel 2009 l'omologazione idraulica dal Genio Civile della Regione Toscana.

L'analisi compiuta riconferma che, nel contesto autorizzativo più volte richiamato, l'opera di by-pass del torrente Mugnone in corrispondenza del ponte del collegamento ferroviario con la stazione di Santa Maria Novella è nella geometria e nell'ingombro l'unica soluzione possibile: questa infatti,

benché si inserisca in un contesto urbanistico complesso, garantisce l'efficienza idraulica necessaria per consentire il deflusso delle portate di piena e preservare la sicurezza del tessuto urbano di Firenze, ottimizzandone le componenti paesaggistiche-ambientali.