

SEAPrime

SEA Prime S.p.A

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE FIUME LAMBRO

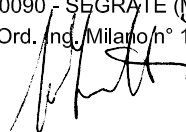
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA

DATA: febbraio 2015; rev. 1 - giugno 2015

Prof. Ing. SILVIO FRANZETTI

Via Monte Resegone, 16
20090 - SEGRATE (Milano)
Ord. Ing. Milano/n° 13603



Sommario

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | PREMESSE E STUDI PRECEDENTI | 3 |
| 1.1 | STUDIO POLITECNICO DI MILANO 2007 | 4 |
| 1.2 | STUDIO FRANZETTI-ATA 2009 | 9 |
| 2. | APPROVAZIONI | 17 |
| 2.1 | APPROVAZIONI | 17 |
| 2.2 | CONFERENZA DEI SERVIZI | 17 |
| 2.2.1 | Soprintendeza Belle Arti e Paesaggio Milano | 17 |
| 2.2.2 | Sireg-Ster | 17 |
| 2.2.3 | AdbPo | 17 |
| 2.2.4 | Città Metropolitana di Milano | 18 |
| 2.2.5 | Comune di Milano | 18 |
| 3. | RELAZIONE DESCRITTIVA | 21 |
| 4. | IL PROGETTO IDRAULICO | 23 |
| 4.1 | INQUADRAMENTO | 23 |
| 4.2 | IL BYPASS | 23 |
| 4.3 | PROTEZIONI DALL'EROSIONE | 24 |
| 4.3.1 | Soglia-scivolo a Monlué | 24 |
| 4.3.2 | Scogliere e Riprap | 25 |
| 4.3.3 | Tipologie di Riprap e di Scogliera | 26 |
| 5 | SUDDIVISIONE DEI LAVORI IN 1° FASE E 2° FASE | 28 |
| 5.1 | LAVORI DI 1° FASE | 28 |
| 5.2 | LAVORI DI 2° FASE | 30 |
| 6 | TERRE DI SCAVO | 31 |
| 6.1 | INDAGINE DI CARATTERIZZAZIONE | 31 |
| 6.2 | SCELTE PROGETTUALI | 31 |
| 7 | INDAGINI STRUTTURALI E GEOTECNICHE | 33 |
| 8 | RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IN C.A | 34 |
| 8.1 | PONTE FANTOLI | 34 |
| 8.1.1 | Carichi sui pali esistenti | 34 |
| 8.1.2 | Stima della profondità dei pali esistenti | 34 |
| 8.1.3 | Carichi sui pali di progetto | 36 |
| 8.1.4 | Micropali aggiuntivi in progetto | 36 |
| 8.2 | MURI SPONDALI IN VIA CAMALDOLI (PONTE LAMBRO) | 38 |
| 9 | VIABILITÀ | 46 |

| | | |
|----|---|----|
| 10 | OCCUPAZIONE TERRENI E PROPRIETÀ PRIVATE | 47 |
| 11 | CONCLUSIONI | 48 |

1. PREMESSE E STUDI PRECEDENTI

L'area aeroportuale di Linate è lambita a ovest (sponda sinistra) dal fiume Lambro, nel tratto compreso fra il ponte Forlanini e la traversa di Bolgiano, come indicato in Fig. 1.

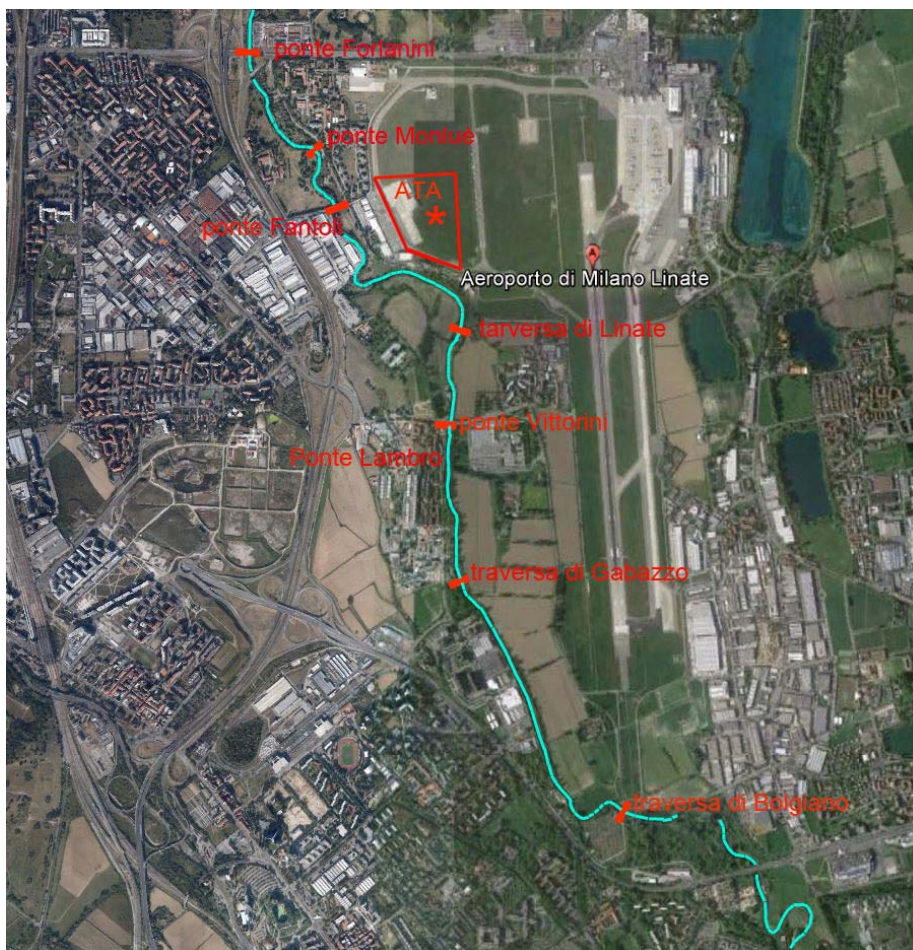


Fig. 1 Tronco del fiume Lambro a ovest dell'area aeroportuale di Linate.

* Piazzale ovest- Sosta aeromobili, area di sviluppo ATA (ora PrimeAviationSerices S.p.A.)

Sono stati eseguiti, e recepiti dall'Autorità di Bacino del fiume Po (AdbPo) e dall'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO), degli studi particolareggiati riguardanti le aree site in sponda destra e sinistra del fiume:

- Studio Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D"
- Studio prof. Franzetti 2009, per ATA (ora PrimeAviationSerices S.p.A. nel seguito indicata come PAS): "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto"

Entrambi gli studi sono stati redatti in conformità delle indicazioni del PAI. Per la valutazione della potenziale pericolosità nelle aree soggette ad allagamento sono stati utilizzati due criteri, sostanzialmente simili, per la valutazione della potenziale pericolosità nelle aree soggette ad allagamento:

1) il criterio 1 indicato dalla Regione Lombardia, DGR 29 Ottobre 2001-N7/6645 Allegato 3 (Fig. 2). Al di sopra della curva di Fig. 2 si è in ZONA I = non urbanizzabile, al di sotto si devono adottare opere di mitigazione del rischio con accorgimenti costruttivi.

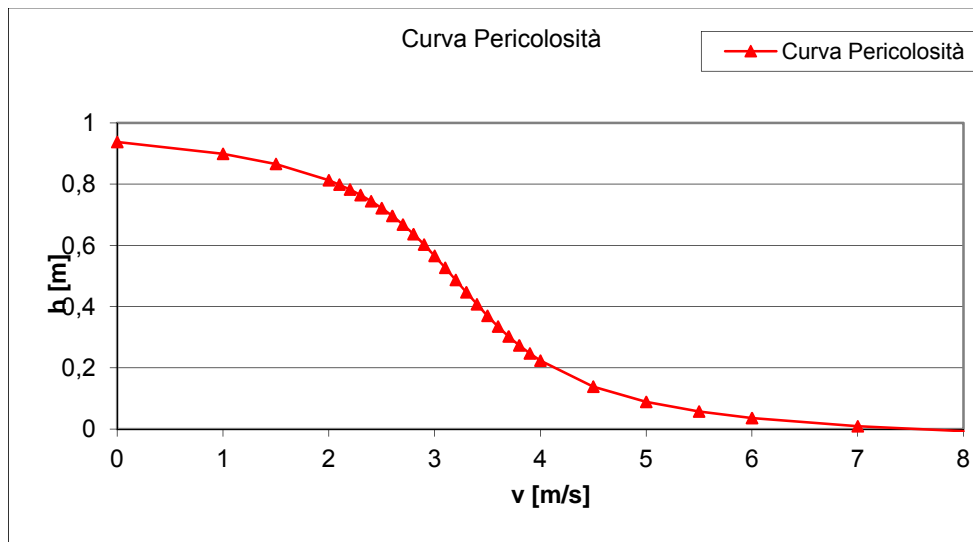


Fig. 2 - Curva di Pericolosità basata su modulo della velocità v e tirante idraulico h .

Detto 100% il valore h_{lim} di h corrispondente in Fig. 2, a un certo valore della velocità v , e detto h il valore del tirante idrico ottenuto mediante il modello, valori percentuali $h/h_{lim}\% < 100\%$ indicano di quanto si è lontani dalla situazione di pericolosità grave.

Nelle figure che seguono il valore percentuale suddetto è indicato con il simbolo $(v \cdot h)_{lim}\%$ (o $h/h_{lim}\%$)

2) il criterio indicato da AdBPo (PAI, 7 Norme di Attuazione Direttive di Piano, Interventi sulla rete idrografica e sui versanti – Legge 18 Maggio 1989, n.183, art.17, comma 6ter, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 in data 26 Aprile 2001; Direttiva per la riduzione del rischio...; par. 5.2.3):

$$v \cdot h \leq 0.4$$

Detto 0.4 il valore limite oltre il quale si ha una situazione di pericolosità limite, anche in questo caso evidentemente valori di $v \cdot h$, ottenuti con il modello, inferiori a 0.4 indicano di quanto si è lontani dalla suddetta situazione limite.

1.1 STUDIO POLITECNICO DI MILANO 2007

Situazione attuale

Lo studio, commissionato da SEA al Politecnico di Milano, riguarda le possibili esondazione in sponda sinistra del fiume per valutare le condizioni di pericolosità idraulica dovute alle piene del fiume Lambro nel tratto in corrispondenza dell'aeroporto di Linate. Con riferimento allo scenario “idrogramma di piena per tempo di ritorno $T=200$ anni”, l’analisi 1D e 2D si è constatato che effettivamente l’area aeroportuale è attualmente interessata da possibili esondazioni. Si riportano in Fig.3 e Fig. 4 le mappe di $(v \cdot h)_{lim}\%$ e $(v \cdot h)$ ottenute.

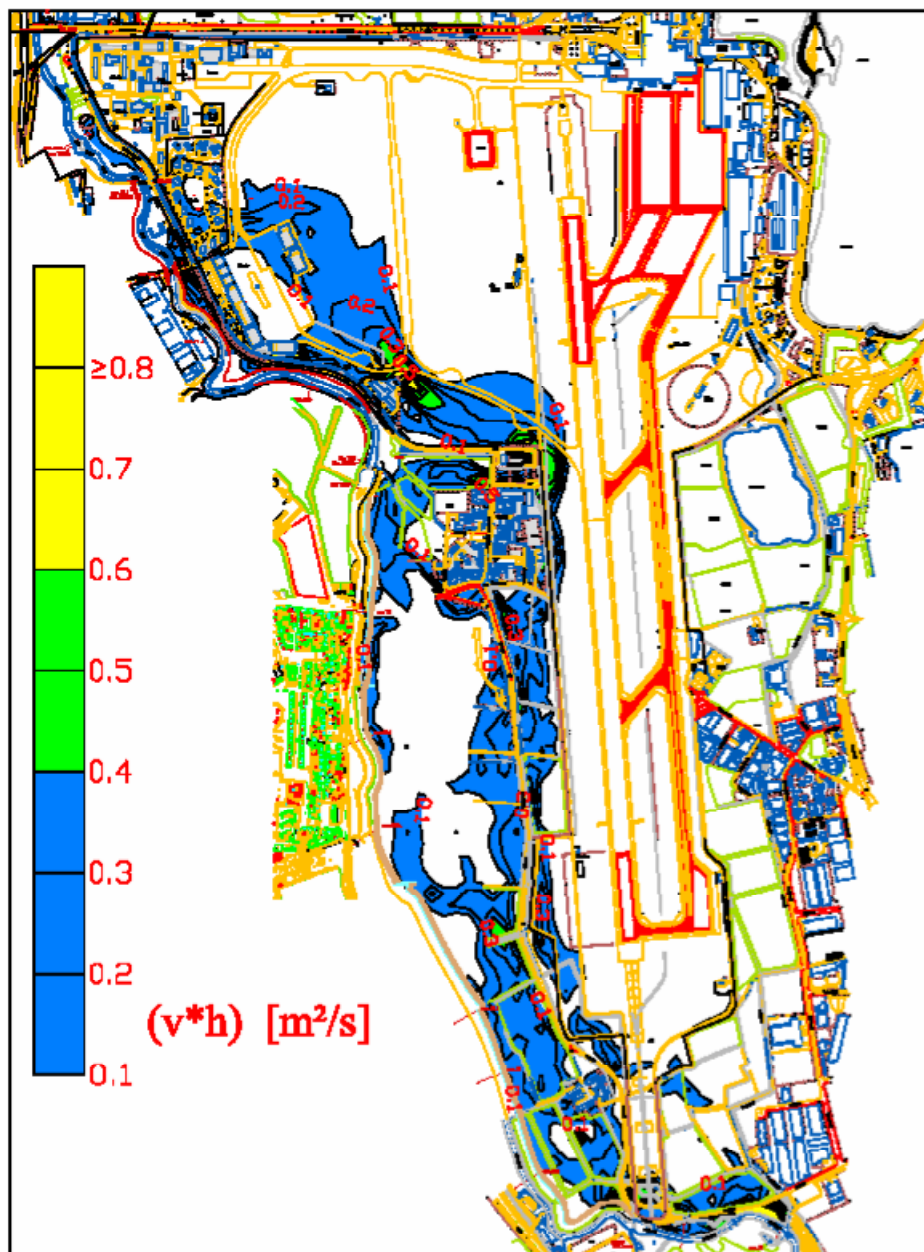


Fig.3 - Allagamenti – **Criterio di Pericolosità AdBPo** – TR=200 anni –
Situazione attuale_– Esondazione al ponte Fantoli.

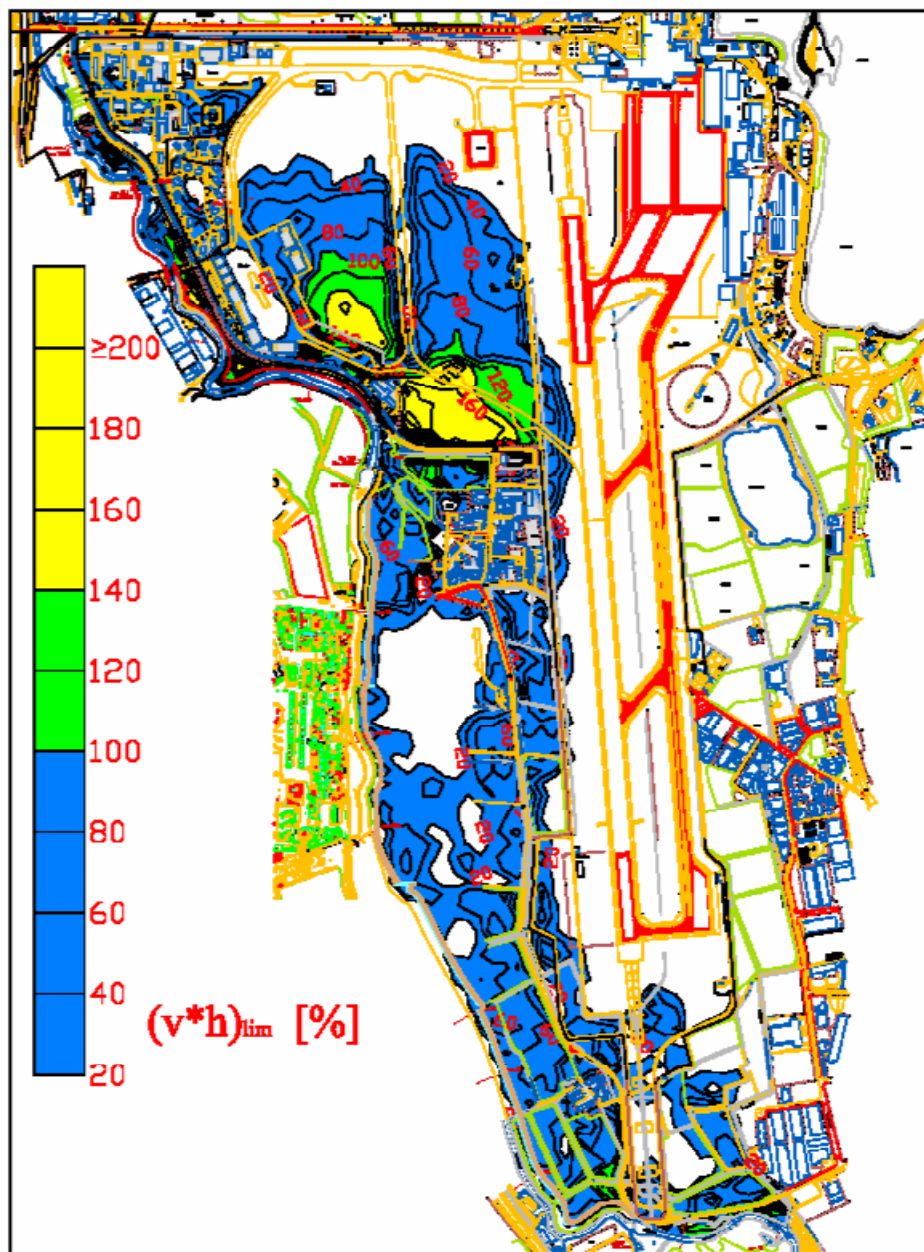


Fig.4 - Allagamenti – Criterio di Pericolosità Regione Lombardia – TR=200 anni – **Situazione attuale**.- Esondazione al ponte Fantoli

Situazione di progetto

Lo studio ha poi considerato una situazione di progetto che prevede il risezionamento dell'alveo (consistente in abbattimento della traversa di Linate/ampliamento delle sezioni/formazione di bypass al ponte Monlué/ innalzamento argini) fino poco a valle della traversa di Linate, ottenendo i risultati indicati in Fig. 5 e Fig.6.

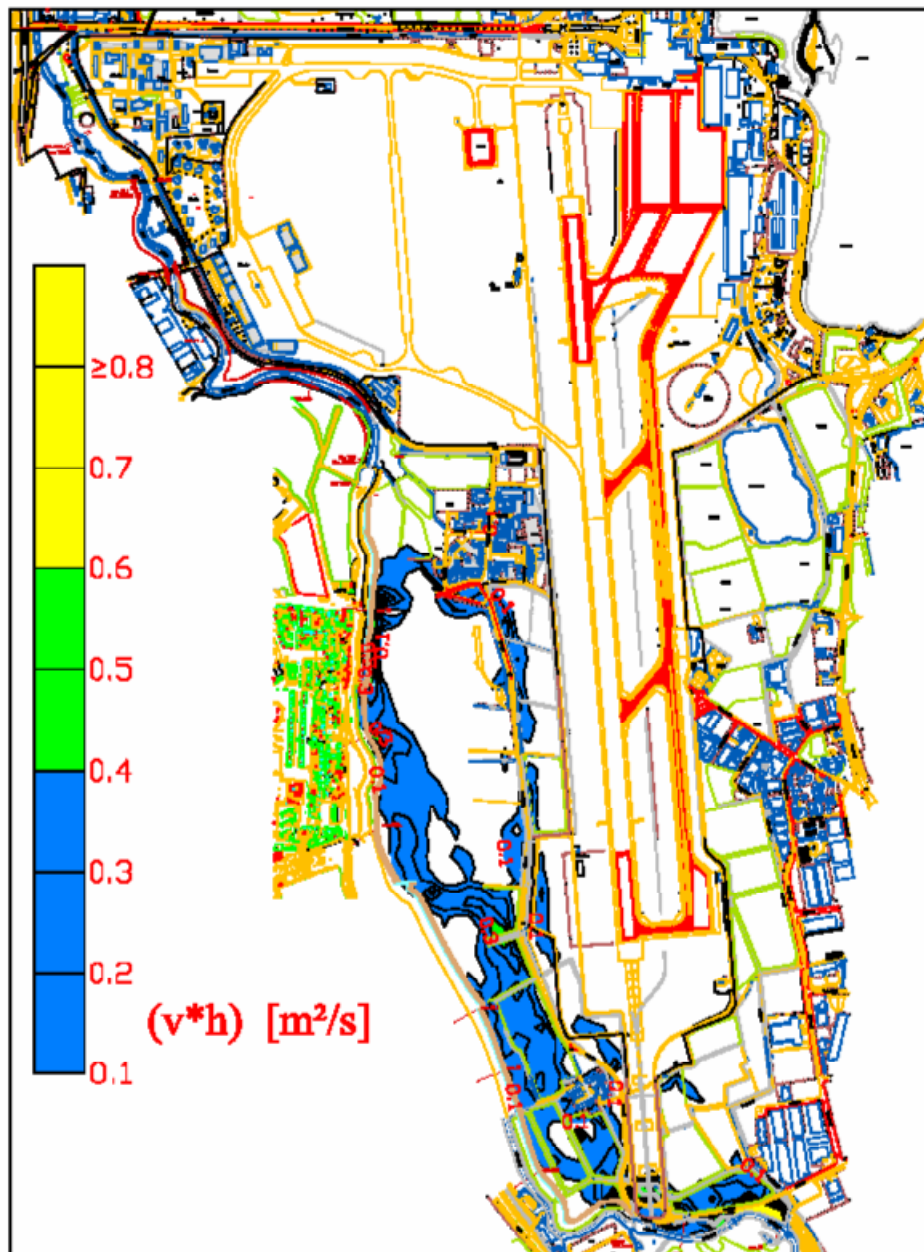


Fig.5- Allagamenti – Criterio di Pericolosità AdbPo – $T_R=200$ anni –
Situazione di progetto – Esondazione al ponte Vittorini.

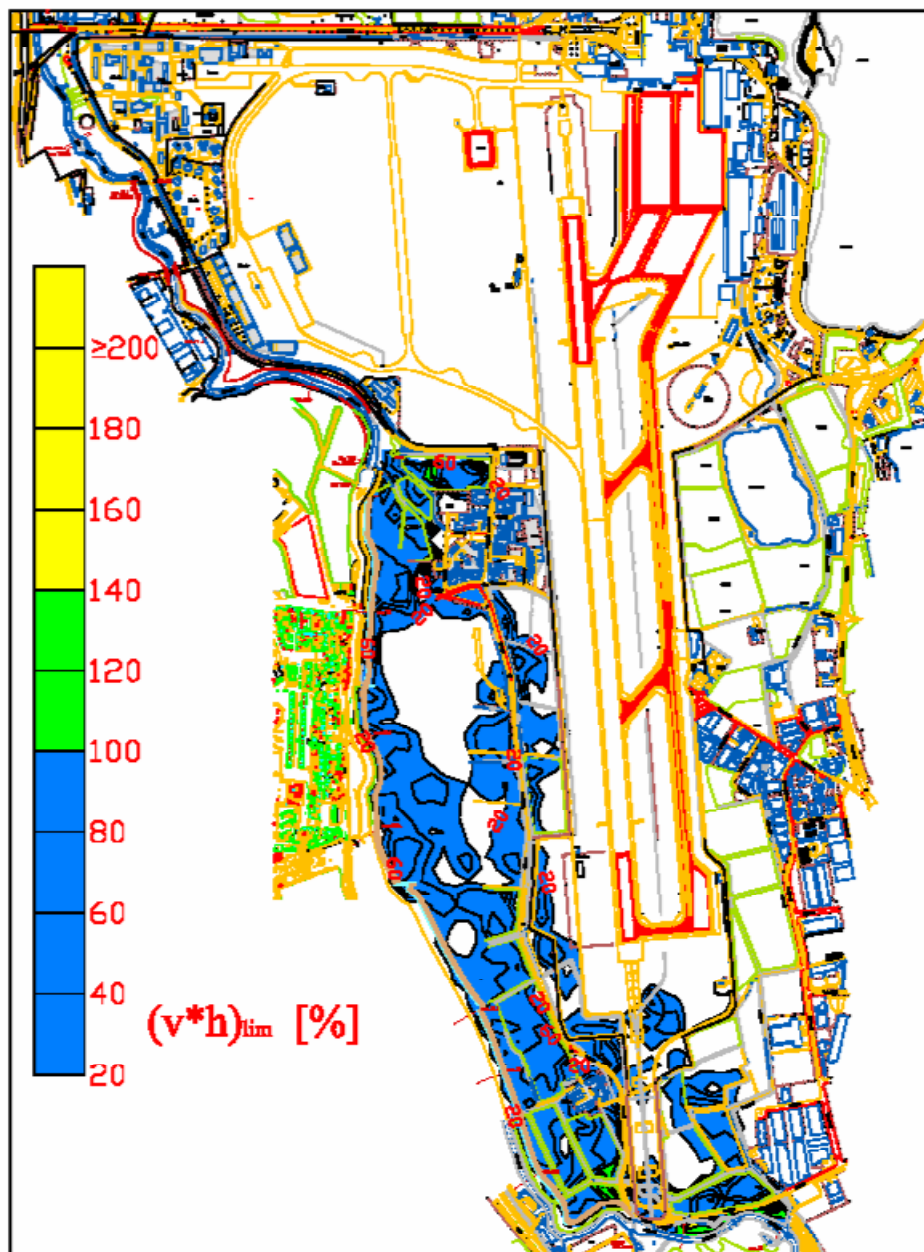


Fig.6- Allagamenti – Criterio di Pericolosità Regione Lombardia – $T_R=200$ anni
– **Situazione di progetto** – Esondazione al ponte Vittorini.

Conclusioni

Dal confronto fra le figure 3-5 e 4-6 si evince che la sistemazione del tronco fluviale fin poco a valle della traversa di Linate migliora sostanzialmente le condizioni di sicurezza dell'area aeroportuale, in particolare alla stazione ATA (ora PrimeAviationSerices S.p.A., nel seguito indicata come PAS) e nella relativa area di sviluppo (Fig.1).

1.2 STUDIO FRANZETTI-ATA 2009

A seguito dello studio Politecnico 2007, ATA ha chiesto di poter effettuare interventi di potenziamento della propria stazione (area di sviluppo indicata in Fig.1) qualora i prospettati interventi di sistemazione del Lambro fossero realizzati. L'AdbPo ha chiesto che fosse studiata la situazione di pericolosità anche di sponda destra, per verificare che gli interventi suddetti non danneggiassero gli insediamenti a ovest del Lambro.

Tale verifica è stata effettuata per ATA dal prof. Franzetti nel 2009. I risultati sono riportati nelle seguenti Fig. 7-8-9 (situazione attuale) e Fig. 10-11-12 (situazione di progetto) analoghe a quelle sopra discusse.

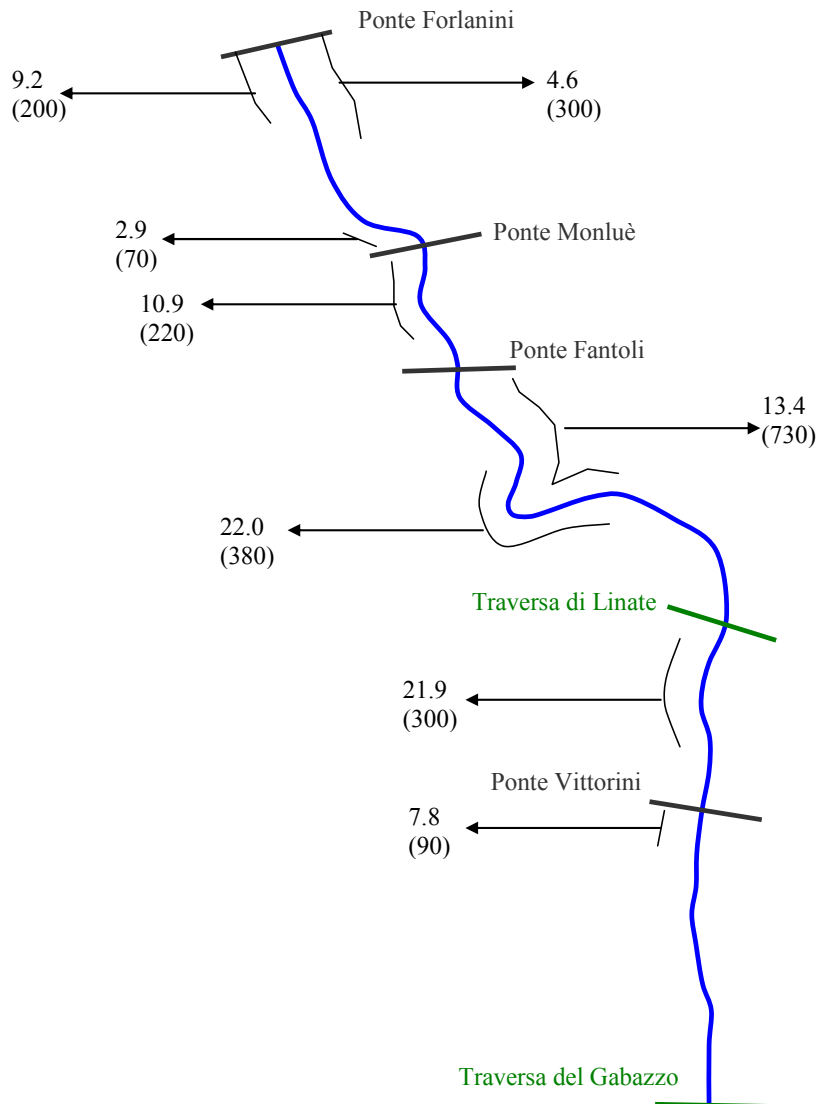


Fig.7 **Situazione attuale.** Mappa delle portate sfiorate dal Lambro: in destra $Q_{\text{totale,dx}} = 74.7 \text{ m}^3/\text{s}$, in sinistra $Q_{\text{totale,sx}} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$. Tra parentesi sono indicate le lunghezze di sfioro.

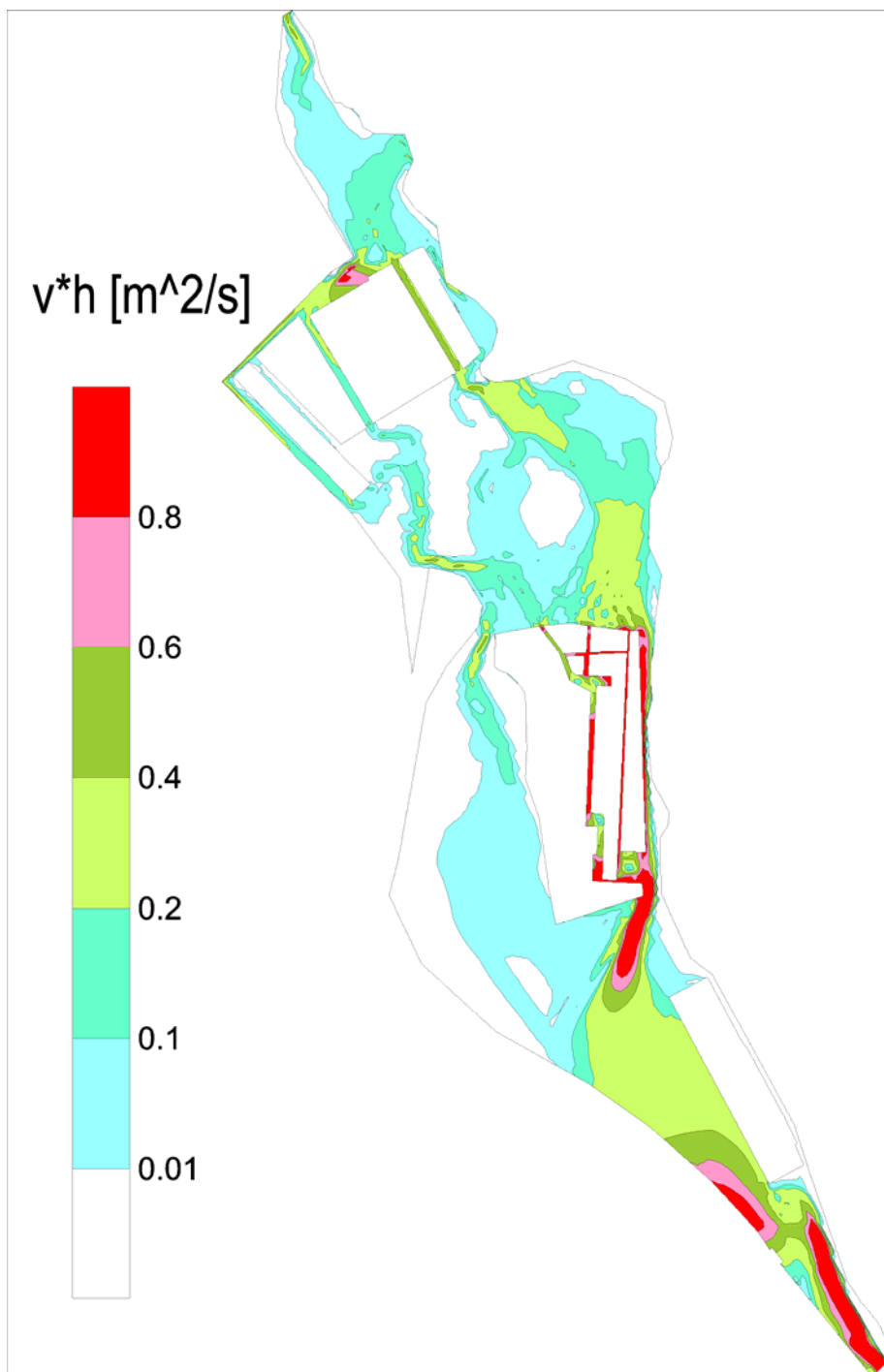


Fig.8- Allagamenti – Criterio di Pericolosità AdBPo – TR=200 anni – **Situazione attuale**

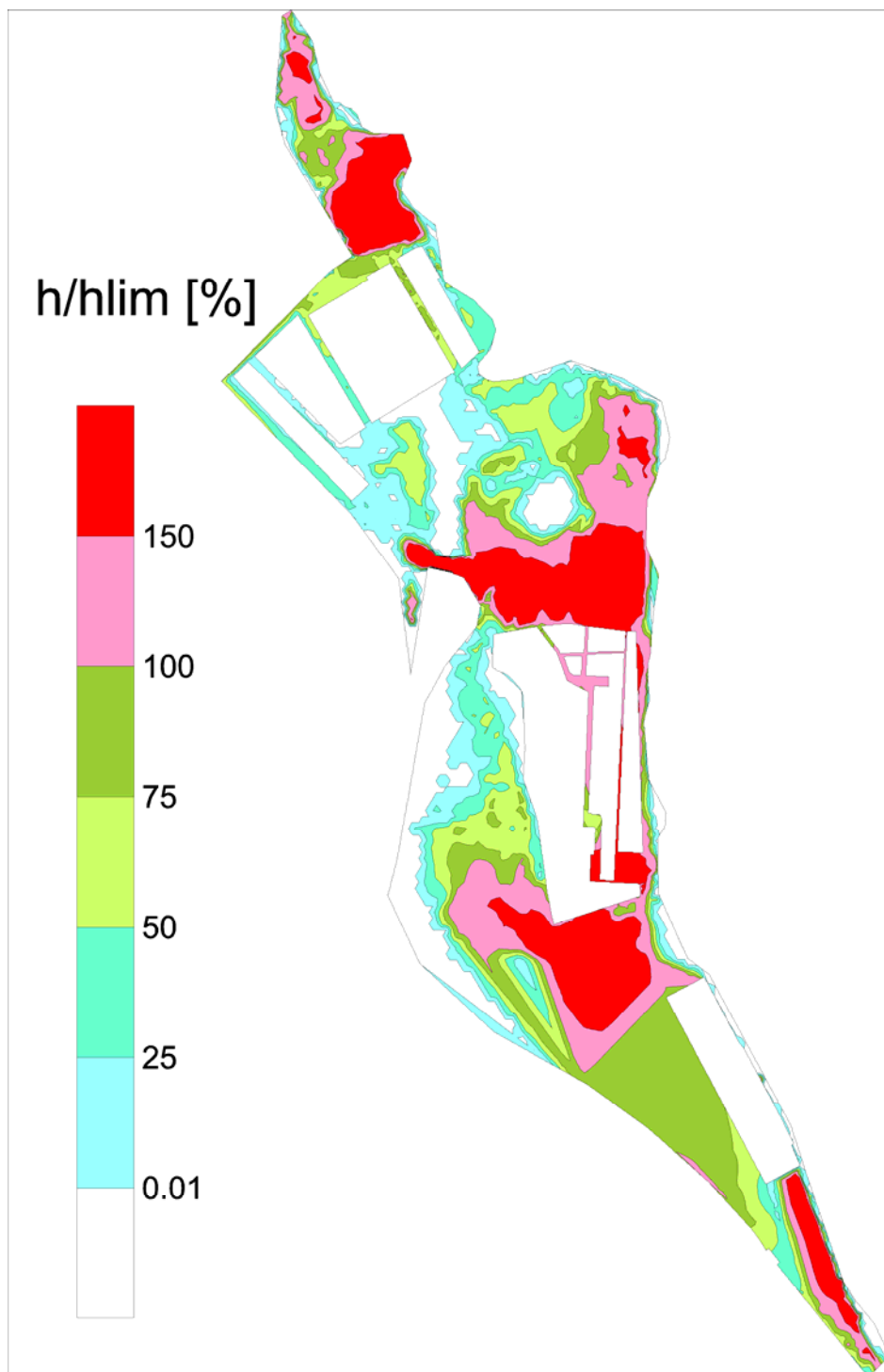


Fig. 9 - Allagamenti – Criterio di Pericolosità Regione Lombardia – TR=200 anni –
Situazione attuale

Conclusioni sulla situazione attuale

Le mappe evidenziano che le zone a pericolosità maggiore si concentrano nelle zone di accumulo (Zona Monluè, Zona Linate-Vittorini) e nella zona Ponte Lambro. L'analisi del prodotto $v \cdot h$ segnala come nel caso di accumulo l'alta pericolosità sia indotta esclusivamente dalle altezze; viceversa nella zona di trasporto (Ponte Lambro) le due grandezze v e h contribuiscono entrambe all'elevato grado di pericolosità, localizzato proprio all'interno dell'abitato. A riprova di ciò si segnala come in tale zona i valori di $v \cdot h$ si mantengano quasi ovunque superiori a 0.4, valore considerato come limite superiore dal criterio AdbPo.

Le aree d'interesse ATA (e anche di Ponte Lambro) sono peraltro previste come zone a elevato rischio idraulico dal PAI (peraltro in accordo con la Direttiva Alluvioni della Regione Lombardia), in fascia B di progetto.

Situazione di progetto

Lo studio ha poi considerato una situazione di progetto che prevede il risezionamento dell'alveo (consistente nelle modifiche già previste nello studio Politecnico 2007, e cioè in abbattimento della traversa di Linate/ampliamento delle sezioni/formazione di bypass al ponte Monlué/ innalzamento argini, con l'aggiunta di un tronco arginale in destra a valle della traversa di Linate e di un innalzamento del parapetto del muro di sostegno stradale a Ponte Lambro) fino a valle della traversa di Linate, ottenendo i risultati indicati in Fig. 10,11,12.

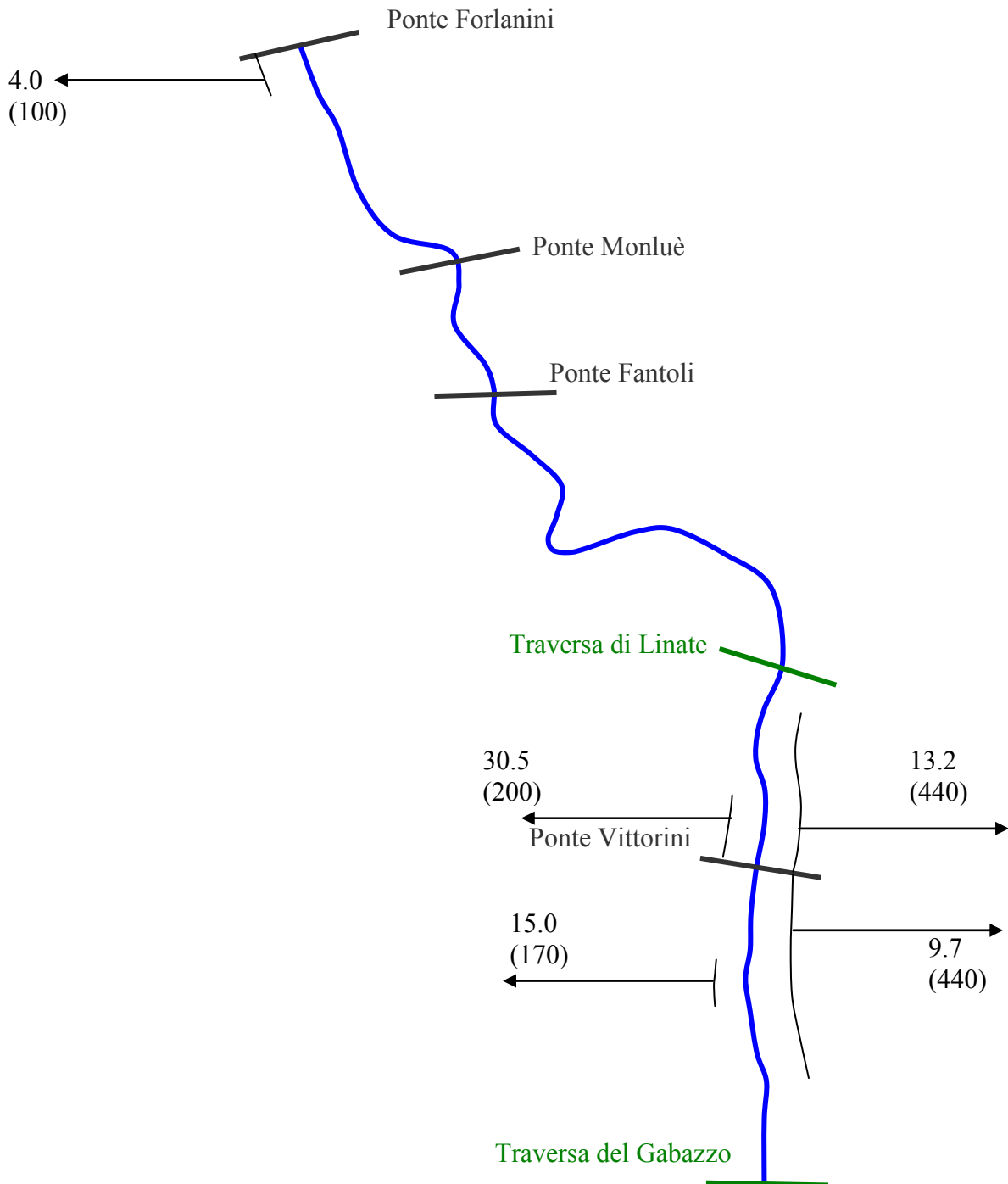


Fig. 10. **Situazione di progetto.** Mappa delle portate sfiorate dal Lambro: in destra $Q_{\text{totale,dx}} = 49.5 \text{ m}^3/\text{s}$, in sinistra $Q_{\text{totale,sx}} = 22.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Tra parentesi sono indicate le lunghezze di sfioro.

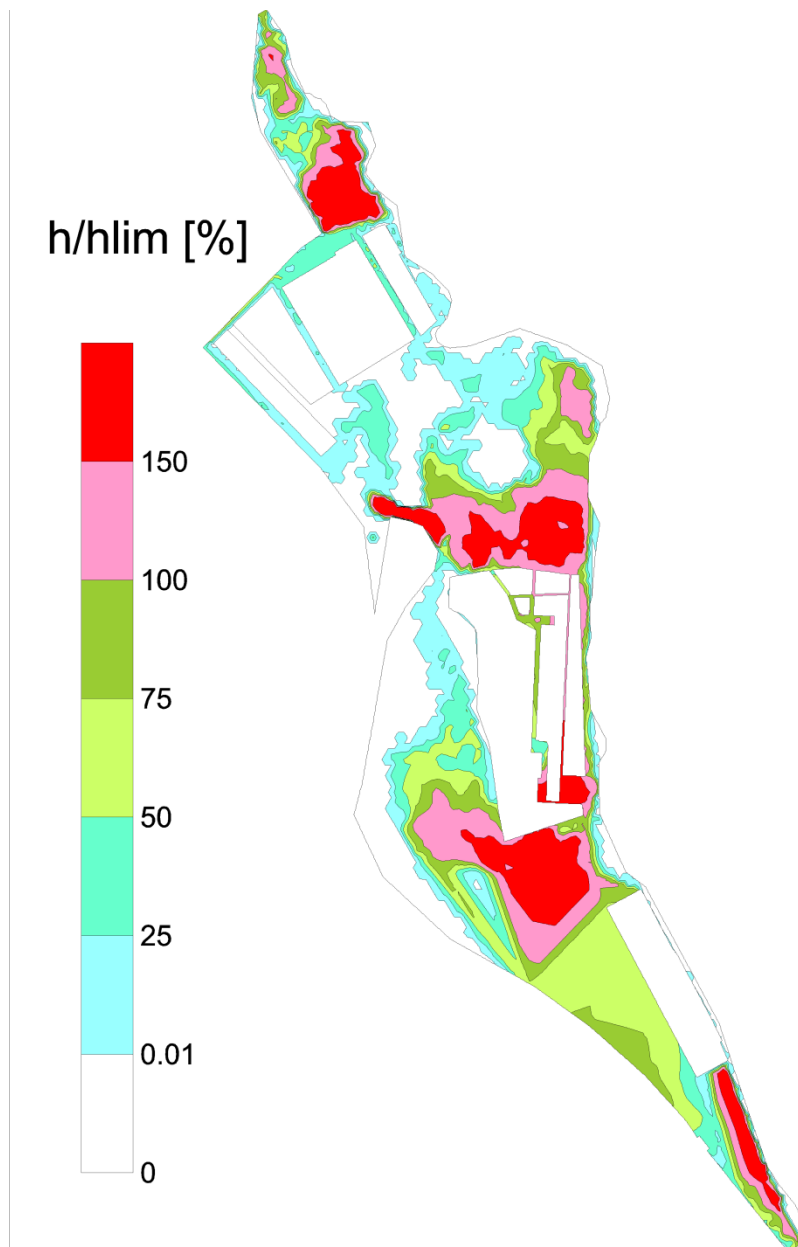


Fig. 11 - Allagamenti – Criterio di Pericolosità Regione Lombardia – TR=200 anni
– **Situazione di progetto** –

Confronto e commento

Si è infine calcolata la differenza fra le condizioni attuale e di progetto, che permette di evidenziare le zone nelle quali l'intervento progettato provoca un aumento o una diminuzione della pericolosità (Fig. 12):

$$\Delta[(h/h_{lim}\%)_{prg2^\circ} - (h/h_{lim}\%)_{sdf}] = \text{differenza fra } h/h_{lim}\% \text{ di progetto e attuale.}$$

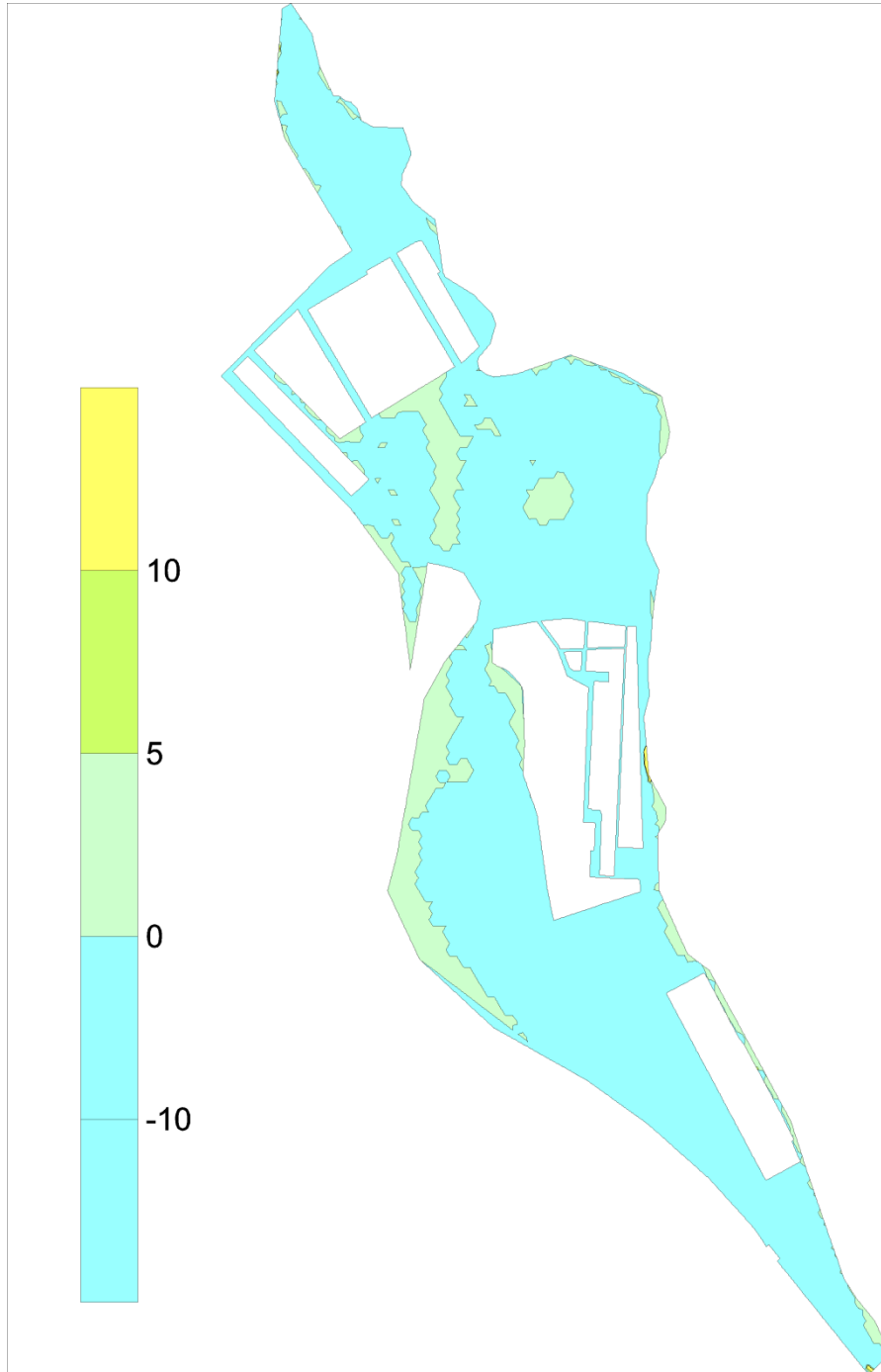


Fig. 12 $\Delta[(h/h_{lim}\%)_{prg2^\circ} - (h/h_{lim}\%)_{sdf}]$ = differenza fra $h/h_{lim}\%$ di progetto e attuale

In definitiva gli interventi proposti nell'ambito dello scenario di progetto **inducono un netto miglioramento** rispetto allo stato di fatto in termini di pericolosità non solo per la **zona aeroportuale** in sinistra Lambro, ma anche nella **zona inurbata** di Ponte Lambro, a valle del ponte Vittorini (situato fra le traverse di Linate e Gabazzo).

In particolare nell'area aeroportuale di sviluppo ATA (ora PAS) (Fig.1) per il le zone attualmente di fascia B verrebbero declassate (quanto meno di fascia C, cosa da definire in seguito con L'Autorità competente).

2. APPROVAZIONI

2.1 APPROVAZIONI

Il 27/04/09 ATA trasmette ad AdBPo lo studio 2009, sopra brevemente illustrato.

Il 16/07/2009, nella “Riunione della segreteria tecnica dell'accordo di programma per la salvaguardia idraulica e la riqualificazione dei corsi d'acqua dell'area metropolitana milanese. Coordinamento della progettazione degli interventi relativi al fiume Lambro”, presenti: RL, AdBPo, AIPO, ProvMI, ComMI, altri comuni, SEA, ATA, Technital, lo studio è approvato, e risulta conforme agli indirizzi di messa in sicurezza previsti dal PAI. AdbPo conferma che, *“una volta realizzate tali opere le aree di interesse sarebbero riclassificate come fascia C, rendendo ammissibili gli interventi previsti”*.

Il 19/07/2011 viene stipulata la Convenzione n. 775 AIPO-ATA per la realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico in destra e sinistra idrografica del fiume Lambro nei comuni di Milano e di Peschiera Borromeo (MI). In tale convenzione si stabilisce, fra l'altro, che ATA (ora PAS) deve procedere nella progettazione e nella esecuzione degli interventi necessari alla messa in sicurezza delle aree di cui trattasi e in particolare dell'area di sviluppo ATA (ora PAS) indicata in Fig.1.

2.2 CONFERENZA DEI SERVIZI

Il 4/05/2015 si ha la 1° seduta della Conferenza dei servizi, a seguito della quale vengono espresse le osservazioni/prescrizioni di seguito riportate, alla quali si dà qui risposta.

2.2.1 Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio Milano

Con lettera del 4/05/2015 la Soprintendenza fornisce le proprie osservazioni/prescrizioni alle quali SeaPrime dà ottemperanza come da allegati 20 al presente progetto.

2.2.2 Sireg-Ster

Con lettera del 14/04/2015 la Regione Lombardia-Giunta-Coordinamento SIREG e STER – Supporto al coordinamento delle sedi territoriali, dichiara la propria non titolarità a esprimere alcun parere.

2.2.3 AdbPo

L'Autorità di bacino del Po esprime parere favorevole con richiesta di precisazioni relativamente alla situazione di progetto rispetto a quella attuale.

In ottemperanza a quanto osservato dall'Autorità vengono aggiornate le tav. 2.1 e 2.2, dalle quali si evince che sia in 1° Fase sia in 2° fase la situazione dei peli liberi della piena di progetto migliora rispetto alla situazione attuale ai fini della sicurezza idraulica.

2.2.4 Città Metropolitana di Milano

Con lettera del 17/04/2015, la Città Metropolitana di Milano precisa le proprie osservazioni/prescrizioni alle quali si dà ottemperanza, come di seguito riportato :

1) comunicare per iscritto la data di inizio e di conclusione dei lavori"

1) Il RUP provvederà.

2) *mantenere costantemente nel corso idrico una quantità d'acqua sufficiente a garantire la sopravvivenza della fauna ittica;*

3) *eseguire i lavori in modo da evitare percolamenti di sostanze inquinanti o intorbidamenti e non danneggiare in alcun modo l'ittiofauna presente nel corso d'acqua;*

4) *recuperare la fauna ittica , nell'ipotesi che le operazioni di cui ai punti 2) e 3) dovessero risultare inattuabili, a cura e spese proprie e alla presenza degli Agenti di Polizia della Città metropolitana di Milano o del personale incaricato dallo scrivente Ufficio, concordando precedentemente con il Servizio faunistico i corsi d'acqua e le modalità per la reimmissione.*

5) *avvalersi per il recupero della fauna ittica di una Ditta autorizzata dalla Città metropolitana di Milano per l'anno in corso e, qualora fosse necessario l'uso dell'elettrostorditore, verificare che l'attrezzo sopracitato venga usato esclusivamente dalle persone nominate nell'atto autorizzativo e che i recuperi di ittiofauna vengano eseguiti a regola d'arte e nel rispetto delle normative sulla sicurezza degli operatori, della cui osservanza sarà direttamente responsabile il titolare della ditta esecutrice;*

6) *effettuare le operazioni di cui ai punti dal 2) al 5) compreso, sotto il controllo del Servizio faunistico della Città metropolitana di Milano, il cui personale è officiato con la presente a dare disposizioni che si rendessero opportune per l'attuazione del contenuto dei punti precedentemente richiamati.*

2), 3), 4), 5) Le prescrizioni di cui sopra sono state inserite come obblighi dell'Impresa nel Capitolato Speciale d'Appalto (art.52).

2.2.5 Comune di Milano

Con lettera del 11/06/2015, il Comune di Milano precisa le proprie osservazioni/prescrizioni alle quali si dà ottemperanza, come di seguito riportato :

1. ASPETTI IDRAULICI

... Tuttavia, i risultati delle simulazioni eseguite, prodotti in sede di conferenza, da una parte confermano che l'effetto delle misure proposte risulta favorevole per il tratto di alveo compreso tra il ponte Forlanini e il ponte Vittorini; dall'altra, risultano invece negative le conseguenze per le aree comprese tra il ponte Vittorini (lato monte) e la traversa del Gabazzo, con sensibile incremento delle portate sfiorate sia in sponda destra che in sponda sinistra [vedansi mappe, tratte dalla Relazione Tecnica, delle portate sfiorate, situazione attuale (All. 1) e situazione di progetto (All.2)].

Infatti, è necessario rilevare come il progetto configuri un consistente incremento di portata delle tracimazioni nell'area di ponte Lambro, rispetto alla situazione attuale, ovvero da $21.9+7.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (All.1) a $30.5 + 15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (All.2). Le analisi di rischio allegate analizzano lo stato attuale sia dal punto di vista dell'altezza idrica (h) che del prodotto $V \cdot h$. Per il progetto, invece, viene presentato solo il parametro dell'altezza idrica, che mostra modesti incrementi in alcune aree aperte a ridosso della tangenziale e dei limitati decrementi nel centro abitato di Ponte Lambro ed il prof. Franzetti, in sede di conferenza dei servizi, nella sua esposizione

indica come statisticamente irrilevanti tali variazioni, e quindi come sostanzialmente invariata la situazione di rischio di Ponte Lambro.

E nelle 5. CONCLUSIONI :

Premesso quanto sopra, per quanto riguarda gli aspetti idraulici, in considerazione del fatto che nello stato attuale il maggiore fattore di rischio per il centro abitato risulta essere il prodotto $V \cdot h$, e che, comunque, il progetto dichiara come le portate di tracimazione verso il centro abitato saranno aumentate malgrado la presenza di opere di protezione, sarebbe opportuno che lo studio presenti la verifica della velocità $V \cdot h$ anche per le opere effettivamente previste e quindi rappresentate le conseguenze per la zona. Si sottolinea, infine, che nella situazione di progetto il punto critico appare essere il ponte di via Vittorini, in corrispondenza del quale avvengono gli sfiori più consistenti, sia in sponda destra che in sponda sinistra.

Si ritiene, inoltre, necessario che vengano proposte ulteriori misure, volte a limitare e, se possibile, ad evitare questi effetti collaterali negativi.

In generale il contenimento delle piene in un certo tratto di fiume può comportare la fuoriuscita di portate a valle (nel caso specifico, fino al Po e oltre). D'altra parte, poiché la sistemazione di un fiume si può realizzare solo per tronchi, è fatale che si abbia qualche effetto collaterale. Il problema è come fare perché gli "effetti collaterali" siano contenuti.

Ciò premesso, poiché le portate fuoriuscenti dall'alveo migrano da monte verso valle, il confronto di massima fra le figure 7 e 10 va fatto sui valori globali di destra e di sinistra Lambro e cioè: i) in destra: attualmente $Q_{\text{totale,dx}} = 74.7 \text{ m}^3/\text{s}$, in progetto $Q_{\text{totale,dx}} = 49.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ii) in sinistra: attualmente $Q_{\text{totale,sx}} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$, in progetto $Q_{\text{totale,sx}} = 22.9 \text{ m}^3/\text{s}$. In definitiva si ha una notevole diminuzione della portata sfiorata in destra e un contenuto aumento in sinistra.

A riprova del fatto che vada considerata la Q_{totale} , si veda la continuità del flusso in destra riportato in fig.11.

I due criteri di pericolosità sopra indicati (criterio 1 della Regione Lombardia e criterio 2 di AdBP) sono concettualmente equivalenti in quanto entrambi fanno riferimento alla coppia di valori " v , h ", pur essendo numericamente diversi.

In particolare il criterio 2 ($v \cdot h \leq 0.4$) va interpretato "cum grano salis". Ad esempio, se si considera una corrente molto lenta con $v = 0.1 \text{ m/s}$ appare evidente che il corrispondente valore limite $h = 4 \text{ m}$ (!) non può essere certo considerato poco pericoloso.

Poiché nel caso specifico le velocità sono non eccessivamente elevate, a pag. 23 della relazione dello studio del 2009 (nel quale peraltro compaiono anche tutte le mappe di velocità e altezze), si precisa che si ritiene significativa "la sola rappresentazione dei tiranti per l'individuazione delle aree a rischio". La fig. 12 mostra appunto che la situazione generale di Ponte Lambro è notevolmente migliorata nella situazione di progetto rispetto alla situazione attuale.¹

E questa conclusione fu ritenuta corretta e quindi accolta dagli enti coinvolti nella "Riunione della segreteria tecnica dell'accordo di programma per la salvaguardia idraulica e la riqualificazione dei corsi d'acqua dell'area metropolitana milanese. Coordinamento della progettazione degli interventi relativi al fiume Lambro", del 16/07/2009 (vedi prg. 2.1) e in particolare dalla Autorità di bacino del Po.

Per quanto riguarda Ponte Lambro non si vedono pertanto "effetti collaterali negativi". Indubbiamente il ponte Vittorini (e l'attraversamento fognario appena a monte) è un punto critico, ma il presente progetto va visto come un significativo passo verso la soluzione dei problemi di esondazione del Lambro, che dovrà essere in futuro integrato da ulteriori interventi - sia a monte sia a valle del tronco di cui trattasi - da parte di Aipo e/o da parte degli Enti proprietari di opere interferenti.

2. ASPETTI URBANISTICI

Le osservazioni sono sostanzialmente di tipo ambientale, pertanto questi temi sono oggetto dello "Studio ambientale" redatto da SEAPrime.

Per quanto concerne gli aspetti idraulici, si fa notare che la situazione di progetto ripercorre la situazione attuale di alveo "cilindrico", con ammorbidimento dell'ansa fra le sezioni 70.53 e 70.88 per evitare anomali depositi e deformazioni eccessive di flusso che possono comportare anomale alterazioni d'alveo con compromissione della funzionalità idraulica.

¹ Se si pensa all'equazione di Chezy, per una data sezione di flusso, al diminuire di h diminuiscono sia la portata circolante sia la velocità, e quindi diminuisce anche il prodotto $V \cdot h$: e la fig. 12 mostra che le altezze a Ponte Lambro diminuiscono.

I terreno di sponda è tale che la stabilità delle sponde, per quanto la loro pendenza venga ridotta in sede di progetto, richiede la protezione “robusta” con materiale lapideo naturale: si conferma che il progetto prevede esclusivamente pietre naturali ed esclude l'utilizzo di materiale di recupero da demolizione di calcestruzzo.

3. BONIFICHE E MOVIMENTI TERRE

Il computo metrico estimativo ipotizza ... una significativa valorizzazione delle terre di scavo conformi alla colonna A, quali "inerti ceduti a compensazione" Detta valorizzazione dovrà essere subordinata al quantitativo effettivo di terre corrispondenti a criteri qualitativi necessari e alla disponibilità di un effettivo destino per il riutilizzo delle terre medesime. Secondo le norme vigenti, infatti, non è ammesso quanto indicato nella Relazione, ovvero la cessione all'impresa che le trasporterà in "propria area di deposito per un futuro utilizzo". Il riutilizzo deve essere certo e predeterminato. La valorizzazione nei termini descritti dovrà essere, inoltre, subordinata agli adempimenti di legge previsti in materia, e non il Piano di Utilizzo citato in relazione, presumibilmente ex DM 161/12, bensì quanto disposto dall'art. 41 bis DL 69/13, a condizione che sia confermato che l'opera non è soggetta a VIA. ...

La "ricollocazione in sito" che viene ipotizzata per le terre da scavo è ammissibile, qualora questo non determini un peggioramento della qualità in posto e pertanto le terre di tipo B non possono essere reimpiegate, laddove la situazione riscontrata in sito mostra compatibilità con la colonna A.

Restano fermi, in ogni caso, gli obblighi di notifica ai sensi degli artt. 242 e 245 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., in caso di riscontri di potenziale contaminazione o al verificarsi di eventi che la possano cagionare.

E nelle 5. CONCLUSIONI :

In tema di terre e rocce da scavo, visto quanto più sopra riportato ... si chiede di meglio precisare il destino del materiale, conformandosi alla legislazione vigente in materia.

Ai paragrafi 6.1 e 6.2 sono state operate le correzioni e fornite le precisazioni richieste.

In particolare: i) il progetto prevede in fase esecutiva una specifica indagine integrativa di quella già effettuata, sulle terre per valutare le idoneità delle aree di rimodellazione ; ii) il Capitolato prevede che in sede di offerta e di progetto esecutivo l'Impresa precisi il destino del materiale in ottemperanza dei disposti dell' art. 41 bis DL 69/13 (non essendo l'opera soggetta a VIA), e l'ottemperanza ai disposti degli artt. 242 e 245 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., in caso di riscontri di potenziale contaminazione o al verificarsi di eventi che la possano cagionare.

4. ASPETTI VIABILISTICI

Circa gli aspetti di viabilità al ponte Fantoli e in via Camaldoli-Ponte Lambro, il Capitolato prevede che è fatto obbligo all'Impresa di concordare con il Settore Infrastrutture per la Mobilità le modalità di gestione dell'attività; cosa che peraltro è già stata sperimentata agevolmente durante l'esecuzione delle indagini geotecniche.

3. RELAZIONE DESCRITTIVA

Il presente progetto definitivo delle opere da realizzarsi sul fiume Lambro discende da quanto definito nella Convenzione AIPO- ATA (ora PrimeAviationServices) del luglio 2011.

In sostanza viene qui portato a livello progettuale quanto definito con gli studi del Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D", e del prof. Franzetti 2009, per ATA (ora PAS) : "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto". In pratica si tratta di abbassare il pelo libero del fiume e di adeguare le sommità arginali in modo da contenere le piene Tr=200 anni nel tronco di interesse.

A tal fine le opere previste sono:

- Rimozione della traversa di Linate che induce un artificiale innalzamento del pelo libero del fiume.
- Cessione - a compensazione - all'impresa aggiudicataria, delle terre di scavo risultate idonee (Tipo A), per il loro riutilizzo a verde pubblico e/o per aree residenziali (colonna A Tab.1 All.5 T.IV D.Lgs.152/06) (vedi cap. 6). È previsto che le terre non idonee a tal fine, ma che non superano i limiti di colonna B Tab.1 All.5 T.IV D.Lgs.152/06 (Tipo B), e quindi idonee a fini industriali/commerciali, siano in parte collocate in sponda sinistra del fiume, con rimodellazione del terreno, in parte cedute all'Impresa.
- Formazione di piste di servizio in sponda destra e sinistra del Lambro per l'esecuzione dei lavori e predisposizione delle aree di rimodellazione di cui sopra con eliminazione di alberi e arbusti. Bonifica dai rifiuti rinvenuti, in particolare dei reliquati e dei rifiuti abbandonati da utilizzatori abusivi (orti abusivi, attivi o dismessi), e specificamente in sponda sinistra: fra il ponte Monlué e il ponte Forlanini, e a monte della traversa di Linate. I rifiuti pericolosi saranno adeguatamente eliminati.
- Eliminazione di alberi e arbusti (e relativi ceppi e radici) in alveo, sulle sue sponde e sui rilevati arginali. Recupero dei massi di riprap e di scogliera esistenti con pulizia dai rifiuti trasportati dalla corrente e depositati sulle sponde e fra i rami degli alberi.
- Risezionamenti d'alveo, consistenti nell'abbassamento del fondo fra la traversa di Linate e il ponte Monlué e nell'allargamento delle sezioni di deflusso con adeguamento delle sommità arginali, ove necessario, così da ottenere un generalizzato abbassamento del pelo libero del Lambro.
- Innalzamento del rilevato arginale in sponda destra a valle della traversa di Linate.
- Ripristino delle attuali condizioni di stabilità del ponte Fantoli nella condizione di progetto.
- Ampliamento del bypass a pelo libero esistente in destra fiume, al ponte di Monlué, così da abbassare il livello idrico a monte del ponte; raccordo del fondo del bypass allo scarico in Lambro immediatamente a monte di detto sbocco e raccordo del fondo alveo del fiume fra il ponte e lo sbocco del bypass.
- Protezioni spondali e di fondo, con scogliere e riprap, nelle aree di progetto, con particolare attenzione alle zone in cui più sensibile è l'azione idrodinamica del fiume
- Innalzamento della sommità del muro di sostegno stradale, in sponda destra, in via Camaldoli a Ponte Lambro.
- Sistemazione ambientale delle aree di rimodellazione in sinistra Lambro.

In base ai risultati della campagna di indagine di caratterizzazione delle terre di scavo effettuata da PrimeAviationServices/SEA), si è ipotizzato che circa 30.000 m³ di materiale scavato (in alveo del Lambro e in qualche sporadica localizzazione arginale) venga riutilizzato nell'ambito dei lavori, rimodellando i terreni – quasi esclusivamente demaniali – di sponda sinistra Lambro, compresi fra via dell'Aviazione e l'argine sinistro. Peraltro in questo modo si rinforzano gli argini, a maggior protezione del sedime aeroportuale, di ovvia importanza strategica.

Tutto ciò è indicato nelle tavole di progetto allegate (Tav.1,2,3,4). In particolare sul profilo longitudinale (Tav.2) è evidenziato come le modifiche progettuali comportino l'abbassamento del profilo idrico secondo le indicazioni degli studi del Politecnico di Milano 2007 e del prof. Franzetti 2009, per ATA.

Il progetto è articolato in due fasi:

- a. La **1° fase** (più dettagliatamente descritta al cap. 5) , della **durata non superiore a un anno**, prevede interventi atti a: i) contenere le piene di progetto a Ponte Lambro; ii) contenere l'innalzamento del pelo libero - così da adeguare le condizioni di sicurezza all'esondazione - a valle del ponte Fantoli e conseguentemente anche a monte dello stesso; iii) abbassare il pelo libero a monte del ponte Monlué
- b. La **2° fase** (eventualmente articolabile in più sottofasi), **della durata non superiore a due anni**, prevede il completamento delle opere in progetto.

Al termine della 1° fase è previsto un primo collaudo degli interventi realizzati, al fine di certificare il raggiungimento in Lambro di valori dei livelli idrici dell'ordine di grandezza (come sopra precisato) di quelli previsti dallo Studio Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D" e dallo studio prof. Franzetti 2009, per ATA : "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto". Ciò al fine di rendere operativi gli interventi di sviluppo al Piazzale ovest- Sosta aeromobili, area di sviluppo ATA(ora PAS) indicata in Fig.1.

4. IL PROGETTO IDRAULICO

4.1 INQUADRAMENTO

Il presente progetto definitivo delle opere da realizzarsi sul fiume Lambro discende da quanto definito nella Convenzione AIPO- ATA del luglio 2011.

In sostanza viene qui portato a livello progettuale quanto definito con gli studi del Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D", e del prof. Franzetti 2009, per ATA : "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto". In pratica si tratta di abbassare il pelo libero del fiume e di adeguare le sommità arginali in modo da contenere le piene $T_r=200$ anni nel tronco di interesse.

A tal fine le opere previste sono:

- Rimozione della traversa di Linate che induce un innalzamento del pelo libero del fiume.
- Risezionamenti d'alveo, consistenti nell'abbassamento del fondo fra la traversa di Linate e il ponte Monlué e nell'allargamento di dette sezioni con adeguamento delle sommità arginali, ove necessario.
- Stabilizzazione del ponte Fantoli.
- Formazione di uno scivolo, a fondo armato da scogliera, a valle del ponte di Monlué per la stabilità di quest'ultimo.
- Ampliamento del bypass a pelo libero esistente in destra fiume, al ponte di Monlué.
- Innalzamento della sommità del muro di sostegno stradale, in sponda destra, in via Camaldoli a Ponte Lambro.

Tutto ciò è indicato nelle tavole di progetto allegate (Tav.1,2,3,4). In particolare sul profilo longitudinale (Tav.2) è evidenziato come le modifiche progettuali comportino l'abbassamento del profilo idrico secondo le indicazioni degli studi del Politecnico di Milano 2007 e del prof. Franzetti 2009, per ATA.

Come anticipato, il progetto è articolato in due fasi:

- c. La **1° fase** (più dettagliatamente descritta al prg. 4) , della **durata non superiore a un anno**, prevede interventi atti a contenere le piene di progetto a Ponte Lambro e l'innalzamento del pelo libero - così da aumentare sensibilmente le condizioni di sicurezza all'esondazione - a valle del ponte Fantoli e conseguentemente a monte dello stesso.
- d. La **2° fase** (articolabile in più sottofasi) della durata non superiore a due anni, prevede il completamento delle opere in progetto.

4.2 IL BYPASS

Il ponte di Monlué, per la limitata dimensione delle luci e per la loro quota d'intradosso, costituisce un ostacolo importante al flusso idrico, provocando un inaccettabile innalzamento del pelo libero a causa delle sensibili perdite di carico.

Il bypass esistente, a causa della elevata quota di imbocco e della sua limitata sezione e pendenza, è in grado di deviare solo pochi m^3/s . Se ne prevede quindi la risagomatura, indicata nelle Tavole 3e 4.

Per ogni livello idrico in Lambro all'imbocco del Bypass (sez. 72, 72.1) si ottiene così una suddivisione delle portate: Q_1 defluente in Lambro e Q_2 defluente nel Bypass, che poi si ricongiungono circa nella sezione 71.42.

La soglia di imbocco del Bypass è a quota 106.50 m s.l.m., con portata in Lambro $Q_1 \sim 85 m^3/s$; il Lambro allo sbocco del bypass è corrispondentemente a quota ~ 105.3 m s.l.m. L'inizio dello sfioro in bypass avviene praticamente senza rigurgito da valle.

Viceversa, imponendo la condizione di sbocco del bypass in Lambro a quota 107.3 m s.l.m. si ha un modesto rigurgito nel bypass, e si ottiene :

livello del Lambro all'imbocco del bypass = 107.9 m s.l.m.

$Q_1 \sim 160 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_2 \sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_1 + Q_2 = 210 \text{ m}^3/\text{s}$

4.3 PROTEZIONI DALL'EROSIONE

Per le nuove opere in progetto sono previste protezioni dall'erosione.

Trattasi di:

- Protezioni di fondo allo scivolo d raccordo a Monlué
- Scogliere di protezione spondale laddove la pendenza del paramento arginale è più elevata e/o la velocità dell'acqua è maggiore (per dimensione della sezione o per curvatura dell'alveo)
- Riprap di protezione spondale per situazioni intermedie di pendenza del paramento e/o e di velocità dell'acqua.

4.3.1 Soglia-scivolo a Monlué

In progetto è prevista una soglia di fondo a scivolo con dislivello fra monte e valle di 1.39 m .

Per definire le dimensioni di questo manufatto trasversale e della protezione da realizzare, occorre tener conto della forza erosiva che si verifica per effetto del moto vorticoso a valle, anche per effetto del risalto talora annegato.

Si adotta una soluzione a scogliera chiodata su sottofondo (filtro) in pietrame di pezzatura ridotta, dimensionata secondo i criteri descritti nel paragrafo 4.3.2.

In definitiva si ha:

a) massi di filtro: cuscinetto di pietrame R20 di spessore =0.60 m;

b) scogliera classe Ia (SIa) di massi chiodati, spessore =2.40m.

Valori di riferimento:

- Q = portata sulla soglia
- k = carico (critico) sulla soglia
- V_k = velocità sulla soglia
- V_{sc} = velocità massima di corrente veloce
- H_L = tirante di corrente lenta in Lambro a valle dello scivolo
- L_{ris} = distanza del risalto a valle del ciglio di monte dello scivolo

Si sono ricavati i seguenti scenari significativi:

| $Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ | $k \text{ (m)}$ | $V_k \text{ (m/s)}$ | $V_{sc} \text{ (m/s)}$ | $H_L \text{ (m)}$ | $L_{ris} \text{ (m)}$ |
|----------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 10 | 0,43 | 1.98 | 2.28 | 1.10 | >40 |
| 30 | 0.87 | 2.75 | 3.42 | 2.27 | 37.6 |
| 80 | 1.60 | 3.60 | 4.72 | 2.50 | 24.6 |
| 110 | 1.94 | 3.91 | 5.05 | 3.72 | 13.0 |
| 161.5 | 2.44 | 4.31 | | 4.46 | 0.0 |

4.3.2 Scogliere e Riprap

Il dimensionamento delle scogliere e dei riprap può essere fatto utilizzando vari metodi. Di seguito se ne indicano alcuni.

Si fa riferimento alle seguenti grandezze:

- $w_r (m^3) = 0,52 d^3$ volume del masso sciolto (rip-rap);
- $\Delta = (\gamma_m - \gamma) / \gamma$ densità relativa del masso rispetto all'acqua;
- $U (m/s)$ = velocità della corrente che urta contro il masso ($2/3 \cdot U_m$ in rettileno, $4/3 \cdot U_m$ in curva brusca)
- A = livello di turbolenza;
- α = angolo della scarpata;
- ϕ = angolo di riposo in acqua del materiale costituente la scogliera;
- i = angolo di inclinazione dell'alveo
- C_s = coefficiente di sicurezza.

1° Metodo

Un primo metodo, proposto da Lane (1953) e confermato da Jansen, con $A = 0,2 \div 1,4$ secondo le indagini condotte dallo US Bureau of Reclamation, fornisce:

$$w_r > 4.2 \cdot [A \cdot U^2 / (\Delta \cdot 2 \cdot g) \cdot (1 - \sin^2 \alpha / \sin^2 \phi)]^3$$

con w_r = volume di un masso sciolto di una protezione a rip-rap, di diametro equivalente d .

Nella configurazione della scogliera a incastro, scagliata e sotto sagoma si possono considerare che non meno di quattro massi siano collaboranti, ragionevolmente parecchi di più. Se chiodati il loro numero aumenta in modo significativo, sicché in tal caso si è preferito adottare il 3° metodo.

2° Metodo

Espressione simile alla precedente, che prevede la valutazione del coefficiente di sicurezza $C_s > 1$:

$$S = 0.30 \cdot U^2 / (\Delta \cdot g \cdot d)$$

$$B1 = \arctan \{ \cos i / [2 \cdot \sin \alpha / (S \cdot \tan \phi) + \sin i] \}$$

$$S_1 = [1 + \sin (i + \beta)] \cdot S / 2$$

$$C_s = \text{coeff. di sicurezza} = \cos \alpha \cdot \tan \phi / (S_1 \cdot \tan \phi + \sin \alpha \cdot \cos \beta) \geq 1$$

Nella configurazione della scogliera a incastro, scagliata e sotto sagoma si possono considerare che non meno di quattro massi siano collaboranti. Se chiodati il loro numero aumenta in modo significativo, sicché in tal caso si è preferito adottare il 3° metodo.

3° Metodo

Un metodo empirico, derivato da C.R. Neill e applicato più volte in precedenza dal sottoscritto con ottimi risultati, verificati durante varie piene, considera la velocità locale dell'acqua:

$$U_L \leq a U$$

dove:

U_L = velocità locale;

U_m = velocità media;

a = coefficiente variabile in funzione dell'andamento della corrente ($a=2/3 \cdot U_m$ in rettilineo, $a=4/3$ in curva brusca)

:

| U_L (m/s) | categoria |
|-------------|-----------|
| > 4.5 | I |
| 4-4.5 | II |
| 3-4 | III |

4.3.3 Tipologie di Riprap e di Scogliera

Le classi di riprap (peso specifico minimo dei massi calcarei o granitici/gneiss: 2600 kg/m³) previste in progetto sono:

R20: diametro medio 20 cm (intendendo con “dimensione” il valore del diametro della sfera di pari volume), spessore 0.60 m, miscela composta da tre pezzature:

un terzo: $d \sim 0.10$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0005$ m³

un terzo: $d \sim 0.20$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0042$ m³

un terzo: $d \sim 0.30$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0141$ m³

R30: diametro medio 30 cm (intendendo con “dimensione” il valore del diametro della sfera di pari volume), spessore 0.60÷0.70÷1.00 m, miscela composta da tre pezzature:

un terzo: $d \sim 0.20$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0042$ m³

un terzo: $d \sim 0.30$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0141$ m³

un terzo: $d \sim 0.40$ m; volume blocco $w_r \sim 0.0335$ m³

Le classi di scogliera (peso specifico minimo dei massi calcarei o granitici/gneiss: 2600 kg/m³) previste in progetto sono:

Classe Ia (SIa):

i massi superiori (a vista), almeno il 70% di dimensione $d \geq 1.10$ m

- almeno il 20% deve essere non inferiore di 1,40 m (volume blocco w_r 1,437 m³) e non maggiore di 1.70 m
- almeno il 50% deve essere maggiore di 1,10 m (volume blocco w_r 0,697 m³)
- il 100% deve essere maggiore di 0.80 m (volume blocco w_r 0,27 m³) salvo le scagliature
- il 100% deve essere minore di 2,00 m (volume 4,189 m³)
- il valore medio deve essere di 1.25 m (volume 1,023 m³)

Classe Ib (SIb): dimensione d max non superiore a 1.4 m; chiodati; **i massi superiori (a vista), almeno il 70% di dimensione $d \geq 1.00$ m** (volume blocco $w_r > 0,52$ m³)

almeno il 20% deve essere $d \geq 1.20$ m; volume blocco $w_r > 0,90$ m³

almeno il 50% deve essere $d \geq 0.90$ m; volume blocco $w_r > 0,38$ m³

almeno il 80% deve essere $d \geq 0.70$ m; volume blocco $w_r > 0,18$ m³

il 100% deve essere $d < 1.4$ m; volume blocco $w_r < 1.44$ m³

Classe II (SII): dimensione d max non superiore a 1.2 m :

almeno il 20% deve essere $d > 0.90$ m; volume blocco $w_r > 0,38$ m³

almeno il 50% deve essere $d > 0.75$ m; volume blocco $w_r > 0,22$ m³

almeno il 80% deve essere $d > 0.50$ m; volume blocco $w_r > 0,07$ m³

il 100% deve essere $d < 1.20$ m; volume blocco $w_r < 0,90$ m³

Classe III (SIII): dimensione d max non superiore a 0.80 m (intendendo con “dimensione d ” il valore del diametro della sfera di pari volume w_r):

almeno il 20% deve essere $d > 0,65$ m; volume blocco $w_r > 0,14$ m³

almeno il 50% deve essere $d > 0,50$ m; volume blocco $w_r > 0,07$ m³

almeno il 80% deve essere $d > 0,35$ m; volume blocco $w_r > 0,02$ m³

il 100% deve essere $d < 0,80$ m; volume blocco $w_r < 0,27$ m³

5 SUDDIVISIONE DEI LAVORI IN 1° FASE E 2° FASE

5.1 LAVORI DI 1° FASE

Si illustrano qui brevemente i lavori previsti in **1° fase, della durata non superiore a un anno**, che prevede interventi atti a contenere la piena di progetto a Ponte Lambro e l'innalzamento del pelo libero - così da aumentare sensibilmente le condizioni di sicurezza all'esondazione - a valle del ponte Fantoli.

Questa fase, **di particolare importanza per contenuti e tempistica**, è illustrata negli allegati grafici: 1.2, Planimetria 1:2000 – I° e II° Fase, 2.2 Profilo longitudinale I° Fase, 3. Sezioni, 4.2,4.3,4.4 Bypass a Monlué.

La finalità che si vuol ottenere è quella di contenere le piene di progetto, pur non essendo realizzate tutte le opere previste. Per ottenere questo risultato occorre:

- che il pelo libero, al termine della 1° fase, alla sezione 71 bis, sia a quota (circa) 106.80 m s.l.m.;
- che venga realizzato il bypass del ponte Monlué così da abbassare il livello del pelo libero a monte dello stesso;
- sia messa in sicurezza via Camaldoli a Ponte Lambro.

Si segnala che, per poter realizzare le opere previste entro il primo anno d'attività, **l'Impresa dovrà organizzarsi in varie squadre agenti contemporaneamente nelle diverse zone previste (Bypass, Traversa di Linate a monte e a valle della stessa, via Camaldoli).**

Gli interventi sono di seguito elencati.

1. Preliminare

Intervento.

Rimozione di alberi e detriti ai ponti Fantoli e Monlué.

Apertura delle paratoie esistenti in sponda sinistra, e formazione di breccia di circa 4 m in centro dell'esistente traversa di Linate, in modo da abbassare il pelo libero a monte.

Formazione delle piste di servizio all'esterno dell'alveo fluviale, con pulizia delle aree di rimodellazione del terreno nelle aree di deposito in sponda sinistra del Lambro.

Pulizia di argini e delle aree di rimodellazione da arbusti e alberi.

Rilievo delle sezioni fluviali esistenti e delle aree di rimodellazione.

Campionamento delle terre di scavo in alveo, secondo indicazioni progettuali/indicazioni del Direttore dei Lavori/eventuali prescrizioni di ARPA; loro trasporto a laboratorio di analisi indicato da PAS/SEA e conseguente definizione, da parte della DL, delle terre di tipo A e di tipo B, idonee a essere cedute all'Impresa a diverso titolo.

2. Tronco 70÷69.64

Intervento.

In sponda destra: innalzamento della quota del parapetto del muro di sostegno della strada.

Finalità.

Contenere le piene di progetto al fine di ridurre la probabilità di tracimazione in sponda destra e quindi l'allagamento di Ponte Lambro.

Risultato.

Contenimento dei livelli idrici previsti dallo "Studio di allagamenti e di pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto" - Febbraio 2009

3. Tronco 70.2÷70.08

Intervento.

Innalzamento del rilevato arginale in sponda sinistra. Pulizia da rifiuti rinvenuti. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all'Impresa o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.

Finalità.

Abbassamento del livello idrico di piena.

Risultato.

Praticamente quanto previsto dallo “Studio di allagamenti e di pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto” - Febbraio 2009.

4. Tronco 70.2÷70.77 (70.88)

Intervento.

Risezionamento totale e formazione di rilevato arginale in sponda destra e sinistra. Recupero di riprap/scogliere esistenti. Pulizia da rifiuti rinvenuti. Formazione di nuove protezioni in riprap/scogliere. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all’Impresa e/o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.

Rampa provvisoria protetta con massi sul fondo (e sponde) fra 70.77 e 70.88. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all’Impresa e/o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.

Finalità.

Contenere le piene di progetto, abbassando il pelo libero.

Risultato.

Il pelo libero è più alto (≤ 50 cm circa) di quello previsto a opere finite, ma comunque con un franco superiore a 1 m.

5. Tronco 70.77÷71.1

Intervento.

Risezionamento parziale con quota di fondo attuale, ma con ampliamento dell’alveo in sinistra. Pulizia da rifiuti rinvenuti. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all’Impresa e/o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.

Finalità.

Contenere le piene di progetto, abbassando il pelo libero in modo da aumentare sensibilmente le condizioni di sicurezza all’esondazione, a valle del ponte Fantoli.

Risultato.

Il pelo libero è più alto di quello previsto a opere finite, ma comunque circa 1 m più basso di quello attuale e sempre ben al di sotto del coronamento arginale.

6. Bypass 72.13÷71.42/71.26

Intervento.

Realizzazione (quasi) completa del bypass al ponte Monlué. Si realizzano: i) tutte le opere di bypass (incluse le protezioni) dalla sez. 72 fino a metà rampa di scarico in Lambro (fra sez. sez 71.49 e sez. 71.42, cioè fin dove lo consente la quota attuale di fondo del Lambro); ii) la risagomatura, con ampliamento dell’alveo, della sponda destra dello sbocco in Lambro per regolarizzare il deflusso dal bypass; iii) il raccordo della sponda destra all’imbocco, fra la sez. 72.13 e sez. 72, con relative protezioni.

Recupero di riprap/scogliere esistenti. Pulizia da rifiuti rinvenuti. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all’Impresa e/o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.

Finalità.

Diminuire la portata che in piena transita attraverso le arcate del ponte Monlué così da ridurre il rigurgito e abbassare il pelo libero a monte del ponte.

Risultato.

Il pelo libero di piena è nettamente più basso di quello attuale fra i due ponti e conseguentemente è più basso anche a monte del ponte di Monlué, restando sempre contenuto fra gli argini e quindi incrementando in varia misura il margine di difesa dalle esondazioni rispetto alla situazione attuale.

7. Collaudo in corso d’opera dei lavori di 1° fase

Poiché con gli interventi previsti nel 1° fase si vogliono ottenere valori dei livelli idrici ragionevolmente “sicuri”, cioè prossimi a quelli previsti dallo “Studio di allagamenti e di pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto” - Febbraio 2009, è previsto un collaudo parziale in corso d’opera delle opere realizzate in 1° fase.

Il collaudo consisterà, oltre che nella verifica dell'esecuzione delle difese spondali e di fondo previste, in: i) rilievo delle sezioni oggetto di intervento; ii) rilievo del bypass a Monlué; iii) qualora le sezioni di scavo non risultassero sensibilmente simili a quelle previste, è ammesso che il collaudo avvenga mediante il ricalcolo del pelo libero calcolato con i criteri di progetto (scabrezza di Strickler $K_s = 30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$) e con riferimento alle sezioni indicate in progetto, almeno dalla traversa di Linate alla sezione 71 bis, per la portata di progetto $Q = 210 \text{ m}^3/\text{s}$, dal quale deve risultare che il livello idrico alla sezione 71 bis è \leq a quota 106.80 m s.l.m. (max 107.00 m s.l.m.); iv) collaudo strutturale dei muri a Ponte Lambro; v) verifica di quote e sezioni del bypass.

Con il collaudo degli interventi previsti in 1° fase, si certificherà il raggiungimento di valori dei livelli idrici dell'ordine di grandezza (come sopra precisato) di quelli previsti dallo Studio Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D" e dallo studio prof. Franzetti 2009, per ATA: "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto"; con ciò è possibile rendere operativi gli interventi di sviluppo al Piazzale ovest- Sosta aeromobili, area di sviluppo ATA(ora PAS) indicata in Fig.1.

5.2 LAVORI DI 2° FASE

Per i lavori di 2° fase - della durata non superiore a due anni - che prevede l'ultimazione di tutti gli interventi di progetto, sarà realizzata secondo la seguente sequenza logico-temporale:

- Tutte le opere di progetto fra le sezioni 71.1(ponte Fantoli) e 70.77, inclusi i risezionamenti d'alveo e le protezioni spondali; formazione delle piste all'esterno dell'alveo fluviale, con pulizia delle aree di rimodellazione del terreno nelle aree di deposito in sponda sinistra del Lambro laddove ciò non sia già stato fatto in 1° Fase.
- Recupero di riprap/scogliere esistenti. Pulizia da rifiuti rinvenuti. Formazione di nuove protezioni in riprap/scogliere. Rimozione delle terre di scavo e loro cessione all'Impresa o collocazione a rilevato nelle aree di progetto.
- Consolidamento del ponte Fantoli.
- Completamento della demolizione della traversa di Linate.
- Tutte le opere di progetto fra le sezioni 71.49/71.42 (sbocco bypass) e 71.1(ponte Fantoli) e 70.77, inclusi i risezionamenti d'alveo e protezioni spondali.
- Tutte le opere di progetto fra le sezioni 72 (ponte Monlué) e 71.49/71.42.
- Completamento di risezionamento e difese nell'intorno dello sbocco del bypass.
- Opere fra la sez. 72.35 (Tangenziale) e la sez. 72.1 (ponte Monlué) in sponda sinistra.

6 TERRE DI SCAVO

6.1 INDAGINE DI CARATTERIZZAZIONE

PAS/SEA ha fatto eseguire indagini per la caratterizzazione delle terre , sui terreni interessati dai lavori esterni, all'esterno all'alveo fluviale. È stata effettuata l'indagine a fiume (circa in centro alveo) solo in corrispondenza del ponte Fantoli, durante la campagna di indagini geotecniche.

Le localizzazioni dei campionamenti e i risultati sono riportati in All.19.

I risultati indicano che quasi ovunque le terre di scavo lato campagna hanno caratteristiche compatibili con i suoli destinati a verde pubblico e/o aree residenziali (colonna A Tab.1 All.5 T.IV D.Lgs.152/06), possono quindi essere cedute all'Impresa (a titolo oneroso, a compensazione) che provvederà a riutilizzarle in tal senso, presentando in sede di progetto esecutivo il Piano di Utilizzo, secondo la normativa vigente. Queste terre sono convenzionalmente indicate in progetto come **terre tipo A**.

Fanno eccezione tre localizzazioni:

- Alla Sez. 71.5. Sponda sinistra. Al piede dell'argine lato campagna (indicato in All.19 come "Scavo 6 –terra con riporto") e sull'argine (indicato in All.19 come "Scavo 6 –argine interno").
- Alla Sez. 71. Sponda sinistra. Sull'argine lato campagna (indicato in All.19 come "Scavo 11 – argine interno").
- Alla Sez. 71.1. Sponda sinistra. Al piede d'argine lato fiume (indicato in All.19 come "Scavo 10 –argine esterno").
- Alla Sez. 71.1. Sponda sinistra. Al piede d'argine lato fiume (indicato in All.19 come "Scavo 10 –argine esterno").
- Alla Sez. 71.1. In centro fiume (indicato nelle analisi riportate in All.19 come "Punto di prelievo SF5 ").

In questi ultimi casi i valori rilevati non superano quelli di colonna B Tab.1 All.5 T.IV D.Lgs.152/06 e quindi le terre di scavo possono essere cedute/utilizzate a fini industriali/commerciali (**terre tipo B**).

Il progetto prevede quindi: a) di utilizzare –qualora granulometricamente idonee - una prima parte di tali terre a formare il ringrosso arginale, in alternativa alle terre di tipo A ; b) di destinare una seconda parte (il 50% del rimanente, stimato preventivamente in circa 30.000 m³) alle aree di cantiere chiamate "di rimodellazione", laddove compatibili; c) di cedere la restante parte all'Impresa che provvederà a riutilizzarle nel rispetto della normativa vigente, presentando in sede di offerta prima, e poi confermando in sede di progetto esecutivo ,il Piano di Utilizzo, inteso quest'ultimo come la specificazione di tutti i contenuti da presentare alle Autorità competenti (quantità, sito di deposito, tempi di utilizzo, ecc.) in ottemperanza ai disposti dell' art. 41 bis DL 69/13(non essendo l'opera soggetta a VIA). Convenzionalmente queste terre sono indicate in progetto come **terre tipo B**.

6.2 SCELTE PROGETTUALI

L'attuale rilevato arginale viene spostato verso campagna, con ricollocazione in sito del materiale di cui è costituito e con un parziale utilizzo delle terre di tipo A/B.

Poiché non si sono eseguite indagini (lato campagna) relativamente al tronco 71.15÷72.13, in sponda destra ove è previsto un ampliamento significativo dell'alveo, si prevede di effettuare analisi in corso d'opera con prelievo di campioni ogni 150 m circa su detto tronco, al di sotto del coltivo, in modo analogo all'indagine effettuata. In base ai risultati si deciderà se le relative terre di scavo possono essere cedute all'impresa come terre di tipo A o di tipo B.

I prelievi di campioni di terre nelle aree di rimodellazione sono stati eseguiti (quasi) esclusivamente nelle zone di ampliamento delle sezioni. Occorre indagare anche la qualità dei terreni esistenti anche nelle zone in cui si intende apportare inerte per la rimodellazione al fine di classificare la situazione qualitativa attuale per accertarne la compatibilità dell'inerte apportato. Pertanto si prevede di effettuare alcune analisi in corso d'opera con prelievo di campioni ogni 50*50 m circa. Anche in questo caso, in base ai risultati si deciderà dove/se le terre di scavo di tipo B possono essere utilizzate per la rimodellazione.

Prelievi di campioni in alveo sono stati effettuati in una sola localizzazione (ponte Fantoli): in centro alveo e in sponda destra. I risultati delle analisi due prelievi indicherebbero che le terre sarebbero di tipo B per uno strato di circa 1.50 attorno alle sezioni di riferimento allegate al progetto; pertanto il preventivo di spesa iniziale fa riferimento a questo primo schema (indicato in All.3.5 e 8). Per approfondire e meglio precisare la qualità dei materiali in alveo, si prevede di effettuare alcune analisi in corso d'opera con prelievo di campioni ogni 150 m in alveo, in centro e/o in sponda: n.1 campione nel primo strato di deposito (0.80÷1.00 m) superficiale e n.1 campione nel secondo strato di deposito (fra 0.80÷1.00 m e fondo alveo di progetto). Anche in questo caso, in base ai risultati si deciderà se le relative terre di scavo possono essere cedute all'impresa come terre di tipo A o di tipo B.

In definitiva, in base alle analisi finora eseguite, il progetto prevede che:

- a) parte del materiale scavato di tipo B (in alveo del Lambro – indicato in progetto con apposite sezioni di scavo - e nel tronco 71.1÷71.15 fuori alveo), il 50%, venga riutilizzato nell'ambito dei lavori, rimodellando i terreni – quasi esclusivamente demaniali – di sponda sinistra Lambro, compresi fra via Dell'Aviazione e l'argine sinistro. In questa tipologia rientra, ed è stimato in via preventiva in sede di computo, anche il deposito accumulatosi negli ultimi anni e particolarmente nel 2014. Peraltro con la rimodellazione si rinforzano gli argini, a maggior protezione del sedime aeroportuale, di ovvia importanza strategica;
- b) la restante parte del materiale scavato di tipo B, venga ceduto all'Impresa che provvederà ad asportarlo e riutilizzarlo adempiendo alle prescrizioni di Legge;
- c) tutto il materiale di tipo A scavato per l'ampliamento dall'alveo fluviale lato campagna, , salvo quello riutilizzato in sito per i ringrossi arginali, venga ceduto all'Impresa a compensazione.

Lungo la sponda sinistra del Lambro, fra le sezioni 72.1 e 72.35 e alla sez. 70.25 dove è prevista la realizzazione di una pista di lavoro e la risagomatura del terreno, vi sono reliquati di orti abbandonati o attivi, con presenza di rifiuti speciali (tettoie, attrezzi, ecc.) che saranno smaltiti in discarica speciale. Anche i rifiuti pericolosi eventualmente rinvenuti saranno adeguatamente rimossi.

7 INDAGINI STRUTTURALI E GEOTECNICHE

PAS/SEA ha fatto eseguire indagini volte a caratterizzare:

- I pali e le strutture del ponte Fantoli
- I muri-parapetto e spondali in Via Camaldoli
- I terreni di fondazione e spondali a Monlué, ponte Fantoli e Ponte Lambro

I risultati sono riportati in All.18

In sintesi:

- I terreni di fondazione hanno ovunque elevate caratteristiche di portanza.
- Ponte Fantoli. Il cls. dei micropali ha ottime caratteristiche; meno elevate sono quelle delle spalle. Le spalle del ponte sono costituite da muri massicci (spessore ≥ 70 cm), a fondazione diretta (non essendosi rinvenuti pali).
- Ponte Lambro. La struttura di sostegno della strada è costituita per un gran tratto (a monte) da un muro di sostegno in c.a. di buona consistenza, di spessore 50-60 cm (tratti A e B di All.7). Addossato ad esso vi è un muretto-parapetto a fondazione (superficiale) diretta, in generale scollato dal muro principale: ciò spiega il flusso d'acqua verso strada al contatto fra le due strutture, in condizioni di piena del Lambro. Il muro di sostegno "scompare" verso valle (tratto C di All.7), all'approssimarsi delle abitazioni in fregio al Lambro a valle di sez. 69.82; qui è presente solo un muretto a fondazione diretta poggiante sul rilevato spondale.

8 RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IN C.A

8.1 PONTE FANTOLI

Il ponte è a tre campate poggianti su due muri di spalla e su due file ciascuna delle quali costituita da n.8 pali D=300 mm.

Dovendo abbassare il fondo alveo di 1.05 m, la portanza dei pali attuali si riduce conseguentemente. Non è stato possibile individuare la profondità dei pali esistenti, ma solo: la resistenza del calcestruzzo (C28/35), caratteristiche dell'armatura (n. 9 ferri ad aderenza migliorata ϕ 14, copriferro 2.5 cm).

L'intervento in progetto ha come fine quello di ripristinare le condizioni di sicurezza attuali utilizzando, ove possibile, i criteri e le norme in vigore nel periodo di costruzione dell'opera (presumibilmente prima degli anni '70)

8.1.1 Carichi sui pali esistenti

Carichi permanenti : $247/8 \text{ t} = 31 \text{ t/palo} = 304 \text{ kN/palo}$

Carichi accidentali (secondo la normativa in vigore all'epoca della costruzione del ponte):

$114/8 \text{ t} = 14 \text{ t/palo} = 137 \text{ kN/palo}$

Complessivamente : **$P=45 \text{ t/palo} = 441 \text{ kN/palo}$**

Ogni palo è soggetto a carico assiale. Secondo la normativa in vigore all'epoca della costruzione del ponte, il valore ammissibile P_{amm} del carico assiale su un palo è calcolabile :

$$\sigma_{cls} = 60 \text{ kg/cm}^2 = 58.8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A_f = 13.85 \text{ cm}^2$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$A_{cls} = 490.87 \text{ cm}^2$$

$$A_i = \pi d^2 / 4 + 15 A_f + 45 \pi d \cdot 0.07075/5 \text{ cm}^2$$

$$P_{amm} = \sigma_{cls} A_i = \mathbf{45 \text{ t/palo} = 441 \text{ kN/palo}}$$

Praticamente identico a quello valutato in base ai carichi.

8.1.2 Stima della profondità dei pali esistenti

In base alle caratteristiche dei terreni di fondazione del palo è possibile stimare la sua profondità minima.

Portata limite (secondo Brinch – Hansen; Terzaghi):

$$P_{lim} = P_{base} + P_{lat} = A_p \gamma' h N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + \pi D f \gamma' z \alpha \tan \varphi dz$$

$P_{lim}(t)$ = portata limite

$\gamma' = 1 \text{ (t/m}^3\text{)}$ = peso di volume del terreno immerso

φ = angolo d'attrito

$\alpha = 2/3$ coefficiente di riduzione

N_q = funzione dell'angolo d'attrito; $N_q = 23$ per $\varphi = 32^\circ$; $N_q = 29$ per $\varphi = 34^\circ$; $N_q = 64$ per $\varphi = 40^\circ$

$i_q \cdot s_q \cdot d_q$; $i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$ = fattori moltiplicativi di inclinazione, forma e profondità; posti prudenzialmente =1

h (m) = profondità del piano d'appoggio al di sotto del terreno.

D = diametro del palo

A_p = area del palo

Si assumono i seguenti valori (prudenziali):

$\varphi = 38^\circ$ laterale

$\varphi = 40^\circ$ alla punta

| $P_{lim} =$ | $P_{base} + P_{lat}$ |
|---------------------|----------------------|
| γ | 1.00 t/mc |
| Z base | 14.5 m |
| L laterale | 14.5 m |
| φ base | 40.00 gradi |
| φ laterale | 38.00 gradi |
| N_q | 64.16 |
| Diam palo | 0.30 m |
| Peso palo | 1.5 sotto acqua |
| Pbase | 65.73 t |
| Plat | 51.61 t |
| $P_{lim} =$ | 117.33 t |
| FS | 2.50 |
| Peso palo | 1.5 sotto acqua |
| P' esercizio | 45.4 t |

In definitiva la profondità minima del singolo palo, a partire dal livello di thalweg è $Z = 14.50$ m

Abbassando il thalweg di 1.05 m, la portanza si ridurrebbe a **$P''_{esercizio} = 40.7 \text{ t} = 399 \text{ kN/palo}$** :

| $P_{lim} =$ | $P_{base} + P_{lat}$ |
|--------------------|----------------------|
| γ | 1,00 t/mc |
| Z base | 13.45 m |
| L laterale | 13.45 m |
| φ base | 40,00 gradi |
| φ laterale | 38,00 gradi |
| N_q | 64,16 |
| Diam palo | 0,30 m |
| Pbase | 60.97 t |
| Plat | 44.40 t |
| $P_{lim} =$ | 105.37 t |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| FS | 2,50 |
| Peso palo | 1,4 sotto acqua |
| P'' _{esercizio} | 40.7 t |

La **diminuzione di portanza** è quindi $(1-P''/P') \cdot 100 \sim 10\%$, che appare modesta.

Perfino se si assumessero i seguenti valori molto prudentiali:

$\varphi = 39^\circ$ laterale

$\varphi = 42^\circ$ alla punta

$\alpha = 1$

Si otterrebbe, con $Z = 11.50$ m, una riduzione ancora contenuta: $(1-P''/P') \cdot 100 = (1-40.9/46.8) \cdot 100 \sim 13\%$

Tuttavia, per sicurezza si prevedono due micropali aggiuntivi D300 mm per ogni fila, con una trave di irrigidimento e distribuzione dei carichi tale da garantire la centratura dei carichi e un grado di sicurezza non inferiore di quello attuale.

Naturalmente se si assumessero valori minori dell'angolo d'attrito φ , si otterrebbero valori superiori della lunghezza utile Z dei pali e una minore riduzione della portata limite degli stessi.

8.1.3 Carichi sui pali di progetto

Carichi permanenti : $296/10 = 30$ t/palo = 294 kN/palo

Carichi accidentali (secondo la normativa in vigore all'epoca della costruzione del ponte):

$114/10 = 11$ t/palo = 108 kN/palo

Complessivamente : **P=41 t/palo** = 402 kN/palo

8.1.4 Micropali aggiuntivi in progetto

I micropali aggiuntivi sono previsti di tipo iniettato a doppio pistone, con valvole sul bulbo di interasse 50 cm , con le seguenti caratteristiche minime :

L_f (m) = 6 Lunghezza fusto entro terra

L_b (m) = 6 Lunghezza bulbo entro terra

L_t (m) = 12 Lunghezza totale entro terra

D_f (m) = 0.30 diametro esterno minimo del palo (perforazione e fusto)

D_b (m) = 0.40 diametro bulbo

A_f (m) = armatura tubolare di diametro esterno minimo 82.5 mm, spessore minimo 10 mm, acciaio min S460

Tubo camicia lasciato in opera, spessore minimo 6.3 mm, $l_{min} = 3.50$ m

Malta del fusto e del palo fuori terra C28/35, classe d'esposizione XC4

| | | |
|--------------------|--------|-------------|
| Z base | 12,00 | m |
| L laterale bulbo | 6,00 | m |
| φ base | 40,00 | gradi |
| φ laterale | 38,00 | gradi |
| Nq | 64,16 | |
| D_f | 0,30 | m |
| D_b | 0,40 | m |
| Pbase | 96,70 | t |
| Plat | 26.51 | t |
| Plim= | 123.21 | t |
| FS | 2,50 | |
| Peso palo | 1,8 | sotto acqua |
| Pesercizio | 47,5 | t |

I micropali di ogni coppia vengono caricati simultaneamente con:

- Un primo ciclo fino a 490 kN (~ 50 t) e quindi scaricati
- Un secondo ciclo fino a 320 kN (~ 33 t) e bloccati nella trave superiore

I tubi sono previsti con manchettes ogni 50 cm nel tratto di bulbo.

Le giunzioni fra i tubi possono essere filettate oppure a manicotto saldato.

L'iniezione viene fatta in più fasi successive:

- Formazione della guaina – riempimento del perforo - a bassa pressione
- Prima iniezione ad alta pressione – ad ogni manchette, una alla volta -, ad indurimento della guaina iniziato, ma non oltre 14 ore dalla sua formazione. Pressione di rottura della guaina $30 < p < 50$ bar
- Seconda e d eventuali successive iniezioni ad alta pressione.
- Si deve ottenere una pressione residua di almeno 10÷15 bar e un assorbimento totale minimo di 100 litri/m di bulbo.

È consentito l'uso di altra tipologia di micropalo, ma con le stesse caratteristiche di portata di quello progettato, ottenuta con gli stessi parametri di calcolo.

Il progetto esecutivo del micropalo (della sua armatura, del sistema di carico e del sistema di bloccaggio, dei ferri di frettaggio, ecc.) dovrà essere sviluppato in sede di progetto esecutivo.

Armatura trave (calcestruzzo C28/35; ferro B450C-XC4) 0.80*1.95 m:

a) In fase di precarico

$s = 80$ cm ; $h = 1.65 + 0.10 + 0.20$ m; $h' = 1.60$ m

$M = 50 * 1.5 = 75$ tm/m = 735 kNm/m

$A_f = 4$ d 26; armature superiore

$A'_f = 4$ d 24 armature inferiore

$$\sigma_c = 36 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 35.3 \cdot 10^5 \text{ Pa} ; \sigma_f = 2364 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 2.3 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

b) In fase di esercizio

$$s = 80 \text{ cm} ; h = 1.65 + 0.10 + 0.20 \text{ m} ; h' = 1.68 \text{ m}$$

$$M = 41 \cdot 1.5 = 75 \text{ tm/m} = 721 \text{ kNm/m}$$

$A_f = 4$ d 24 armature inferiore

$A'_f = 4$ d 26 armature superiore

$$\sigma_c = 33 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 32.4 \cdot 10^5 \text{ Pa} ; \sigma_f = 2242 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 2.2 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

8.2 MURI SPONDALI IN VIA CAMALDOLI (PONTE LAMBRO)

La capacità di portanza limite del terreno sotto le fondazioni /Brinch – Hansen / Terzaghi) per fondazioni nastriformi è:

$$q = 0.5 B \cdot \gamma h N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma + \gamma h N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q$$

$q \text{ (t/m}^2\text{)} = \text{portanza}$

$\gamma = 1.8 \text{ (t/m}^3\text{)} = \text{peso di volume del terreno asciutto}$

$\gamma = \gamma' = 1 \text{ (t/m}^3\text{)} = \text{peso di volume del terreno immerso}$

$N_\gamma, N_q = \text{funzione dell'angolo d'attrito; } N_\gamma = 34.2 \quad N_q = 29.3 \text{ per } \varphi = 34^\circ;$

$s_\gamma, d_\gamma, i_\gamma, s_q, d_q = \text{fattori moltiplicativi di inclinazione, forma e profondità;}$

$h \text{ (m)} = \text{profondità del piano d'appoggio al di sotto del terreno.}$

In definitiva si ottiene:

Muro di sponda, attuale

a) *Fiume in piena*

- $\varphi = 34^\circ \quad h \leq 8.0 \text{ m} \quad q \text{ (t/m}^2\text{)} \cong 17.1 + 29.3 h; \quad q \text{ (kN/m}^2\text{)} = 168 + 288 h; \quad q \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 1.7 + 2.9 h$
- $\varphi = 30^\circ \quad h \leq 3.0 \text{ m} \quad q \text{ (t/m}^2\text{)} \cong 9.3 + 18.6 h; \quad q \text{ (kN/m}^2\text{)} = 92 + 183 h; \quad q \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0.9 + 1.9 h$

Adottando un coefficiente di sicurezza = 3, si ha:

- $\varphi = 34^\circ \quad h = 8.0 \text{ m}, \quad q_{amm} = 25.2/3 = 8.4 \text{ kg/cm}^2 = 8.2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- $\varphi = 34^\circ \quad h = 2.0 \text{ m}, \quad q_{amm} = 7.6/3 = 2.5 \text{ kg/cm}^2 = 2.4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- $\varphi = 30^\circ \quad h = 1.2 \text{ m}, \quad q_{amm} = 3.3/3 = 1.1 \text{ kg/cm}^2 = 1.1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

b) *Fiume in magra*

- $\varphi = 34^\circ \quad h \leq 4.0 \text{ m} \quad q \text{ (t/m}^2\text{)} \cong 30.8 + 52.8 h; \quad q \text{ (kN/m}^2\text{)} = 302 + 518 h; \quad q \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 3.1 + 5.3 h$
- $\varphi = 34^\circ \quad h > 4.0 \text{ m} \quad q \text{ (t/m}^2\text{)} \cong 228.2 + 29.3 \cdot (h - 4.00); \quad q \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2238.7 + 287.5 \cdot (h - 4.00);$
 $q \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 22.8 + 2.9 \cdot (h - 4.00)$
- $\varphi = 30^\circ \quad h \leq 3.0 \text{ m} \quad q \text{ (t/m}^2\text{)} \cong 16.8 + 33.5 h; \quad q \text{ (kN/m}^2\text{)} = 165 + 329 h; \quad q \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 1.7 + 3.3 h$

Adottando un coefficiente di sicurezza = 3, si ha:

- $\varphi = 34^\circ \quad h = 4.0 \text{ m}, \quad q_{amm} = 24.1/3 = 8.1 \text{ kg/cm}^2 = 7.9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- $\varphi = 34^\circ \quad h = 2.0 \text{ m}, \quad q_{amm} = 13.6/3 = 4.5 \text{ kg/cm}^2 = 4.4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

d) $\varphi = 30^\circ$ $h = 1.2$ m, $q_{amm} = 5.7/3 = 1.9$ kg/cm² = $1.9 \cdot 10^5$ Pa

I carichi sul terreno risultano ampiamente inferiori a quelli ammissibili.

Si verificano ora gli sforzi nel muro di sponda attuale e si dimensionano le strutture del nuovo muro-parapetto.

Simbologia. Con riferimento alle fig. A,B,C:

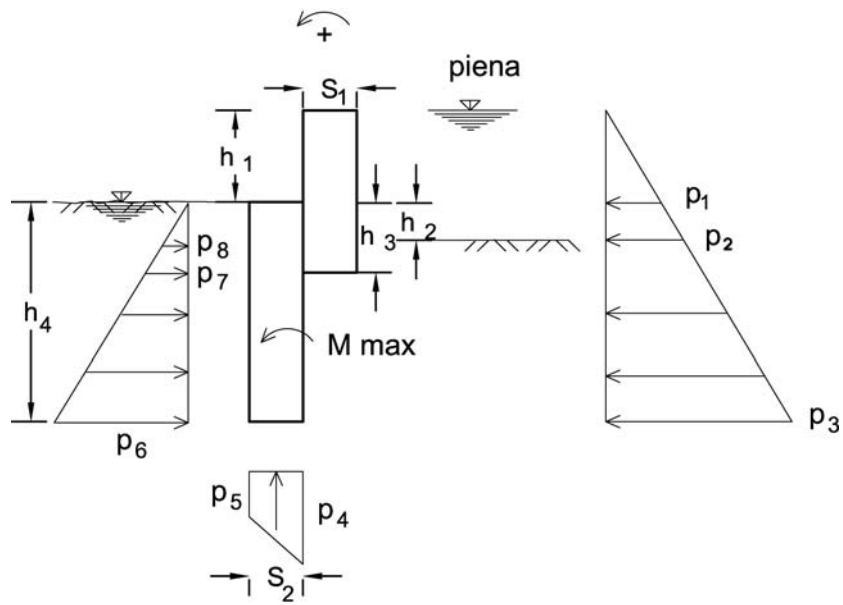


Fig. A

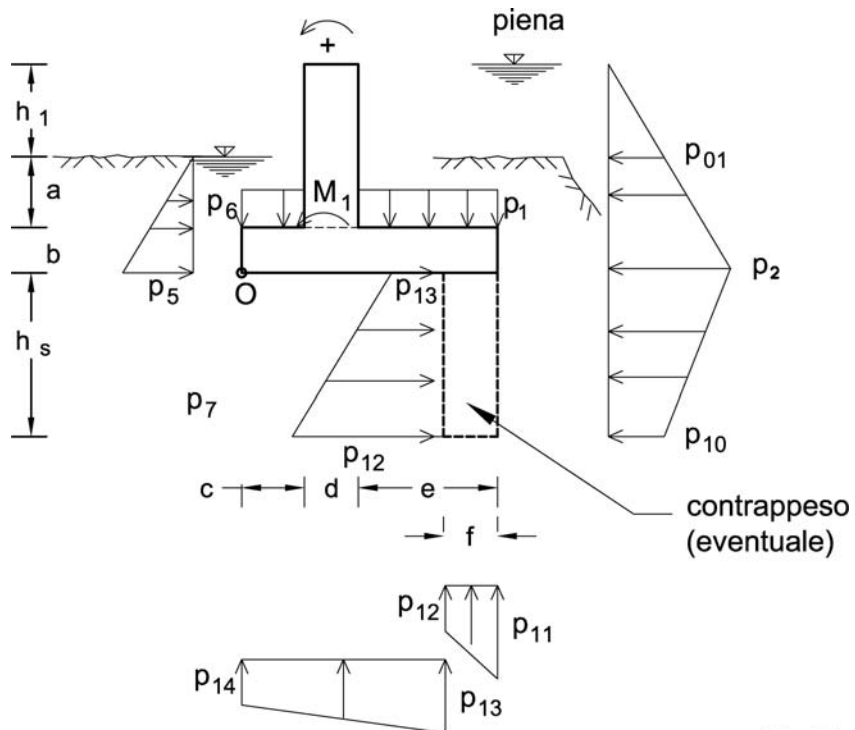


Fig. B

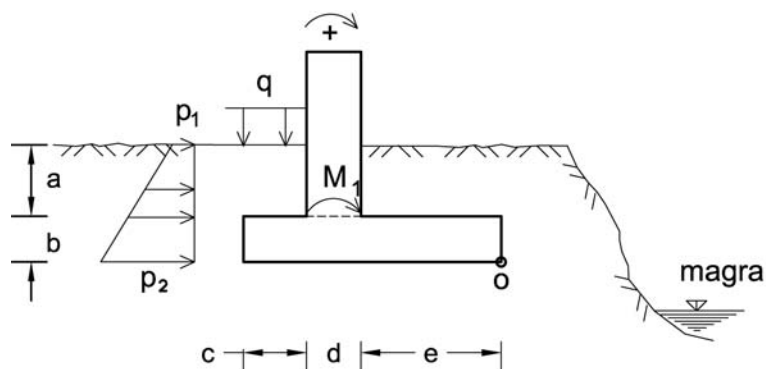


Fig. C

| | | | |
|--------------------------|-------------------|-------|--|
| ϕ | $^{\circ}$ | | angolo d'attrito |
| γ_t | t/m^3 | 1,8 | peso di volume del terreno asciutto |
| γ'_t | t/m^3 | 1 | peso di volume del terreno immerso |
| γ_c | t/m^3 | 2,3 | peso di volume del c.a. |
| λ_a | | | coefficiente di spinta attiva |
| λ_p | | | coefficiente di spinta passiva (muretti B,C) |
| $\lambda_r=1,2\lambda_p$ | | | coefficiente di resistenza (muro arginale s=50 cm) |
| p_i | t/m^2 | | pressione |
| q | t/m^2 | | sovraccarico |
| I | h_1/L | | gradiente idraulico |
| L | m | $V+O$ | percorso del flusso |
| V | m | | percorso verticale |
| O | m | | percorso orizzontale |
| FS | $(V+O/3)/h_1$ | | sicurezza al sifonamento |
| M_1 | tm/m | | momento massimo sull parete verticale |
| $Af=A'f$ | $n.4 \text{ d}12$ | | tondini d'armatura/m (d mm) B450C |
| σ_c | kg/cm^2 | | sforzo calcestruzzo; C25/30; XC4 |
| σ_f | kg/cm^2 | | sforzo ferro |
| I | h_1/L | | gradiente idraulico |

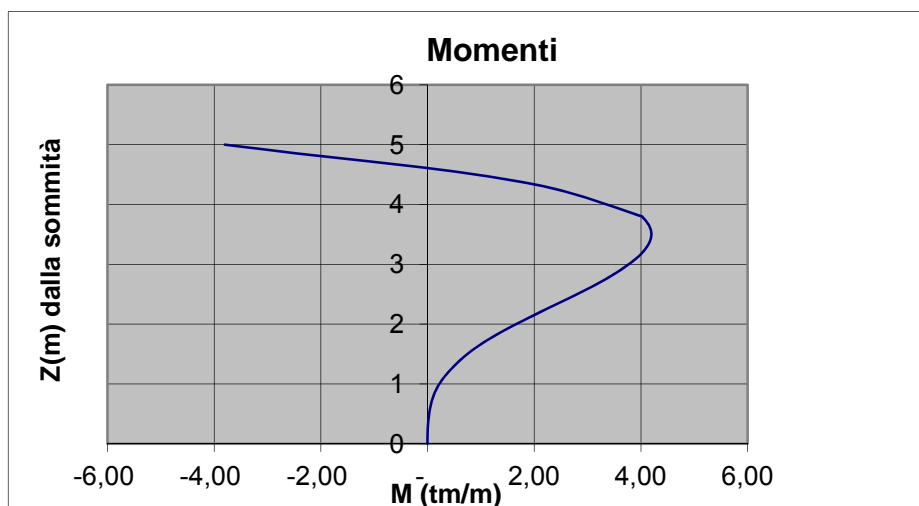
Muro arginale di spessore $s_2 \geq 50$ cm (Fig. A) - PIENA

Con soprazzo-parapetto.

Lavora come diaframma. L'armatura minima individuata dalle indagini è d 18/40 cm (acciaio nervato)

| Fig | $h1$ | $h2$ | $h3$ | $h4$ | $s1$ | $s2$ | φ |
|------|------|-----------|------------------|------------|------------|------|-----------|
| A | 1,80 | 2,00 | 2,00 | 8,00 | 0,30 | 0,50 | 34,00 |
| $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p4$ | $p5$ | $p6$ | $p7$ | $p8$ |
| 1,80 | 3,80 | 8,95 | 9,06 | 9,12 | 40,69 | 3,80 | 8,17 |
| q | Fs | $M1 \leq$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| 0 | 6,76 | 0,97 | n4 d12 | 19 | 983 | | |
| | | $Mmax$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| | | 4,18 | n. 2,5 d18 cm | 25 | 1.635 | | |

Il diagramma dei momenti (trascurando il momento stabilizzate del peso del parapetto di soprazzo):



Muretto arginale di spessore $d = 30$ cm, $h_1 \leq 1.30$ m (Fig. B) - PIENA

| Fig | $h1$ | a | b | c | d | e | hs |
|-----|-----------------|-----------|----------|------------|------------|-------|------|
| B | 1,30 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,00 |
| | φ° | q | $p01$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p4$ |
| | 30,00 | 0,00 | 1,30 | 1,85 | 6,05 | 2,13 | 1,57 |
| | $p5$ | $p6$ | $p10$ | $p11$ | $p12$ | $p13$ | |
| | 5,49 | 2,35 | 2,53 | 2,13 | 1,97 | 1,97 | |
| | FS | $M1 \leq$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| | 3,08 | 1,54 | n4 d12 | 30 | 1560 | | |

Muretto arginale di spessore $d = 30 \text{ cm}$, $h_1 > 1.30 \text{ m}$ (Fig. B) - PIENA

| Fig | h_1 | a | b | c | d | e | hs |
|------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| B | 1,50 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,30 |
| | φ° | q | $p01$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p4$ |
| | 30,00 | - | 1,50 | 2,05 | 6,25 | 2,33 | 1,76 |
| | $p5$ | $p6$ | $p10$ | $p11$ | $p12$ | $p13$ | |
| | 5,68 | 2,55 | 3,03 | 2,53 | 2,38 | 1,98 | |
| | FS | $M1 \leq$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| | 3,07 | 2,03 | n4 d12 | 40 | 2.056 | | |

| Fig | h_1 | a | b | c | d | e | hs |
|------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| B | 1,65 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,50 |
| | φ° | q | $p01$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p4$ |
| | 30,00 | - | 1,65 | 2,20 | 6,39 | 2,47 | 1,90 |
| | $p5$ | $p6$ | $p10$ | $p11$ | $p12$ | $p13$ | |
| | 5,82 | 2,70 | 3,38 | 2,81 | 2,65 | 1,99 | |
| | FS | $M1 \leq$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| | 3,03 | 2,45 | n4 d14 | 42 | 1.859 | | |

| Fig | h_1 | a | b | c | d | e | hs |
|------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| B | 1,80 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,70 |
| | φ° | q | $p01$ | $p1$ | $p2$ | $p3$ | $p4$ |
| | 30,00 | - | 1,80 | 2,34 | 6,53 | 2,61 | 2,04 |
| | $p5$ | $p6$ | $p10$ | $p11$ | $p12$ | $p13$ | |
| | 5,96 | 2,86 | 3,72 | 3,09 | 2,93 | 2,00 | |
| | FS | $M1 \leq$ | $Af=A'f$ | σc | σf | | |
| | 3,00 | 2,93 | n4 d14 | 50 | 2.223 | | |

Muretto arginale di spessore $d = 30 \text{ cm}$, $h_1 = 1.80 \text{ m}$ (Fig. C) - MAGRA

| <i>Fig</i> | <i>h1</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | φ° |
|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------------|
| C | 1,80 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 30 |
| | <i>q</i> | <i>p1</i> | <i>p2</i> | <i>Af=A'f</i> | <i>M1 ≤</i> | <i>σc</i> | <i>σf</i> |
| | 1,00 | 0,33 | 1,05 | n4 d12 | 0,18 | 4 | 182 |

I carichi sul terreno risultano ampiamente inferiori a quelli ammissibili.

9 VIABILITÀ

I problemi di viabilità connessi al progetto sono essenzialmente connessi con l'accesso a via Camaldoli e l'attraversamento del ponte Fantoli durante l'esecuzione dei lavori.

Per il ponte Fantoli l'accesso automobilistico agli insediamenti sottesi sarà comunque possibile dall'abitato di Linate; in particolare dovrà essere concordato con le società di trasporto pubblico il collegamento da detto abitato. Sarà comunque sempre garantito il transito pedonale attraverso il ponte.

A Via Camaldoli-Ponte Lambro. Durante l'esecuzione dei lavori sarà interrotta la viabilità automobilistica, salvo saltuario utilizzo per emergenza e situazioni connesse con l'accesso di disabili. Sarà comunque sempre garantito il transito pedonale.

Sono previste situazioni a senso unico alternato per brevissimi periodi in occasione della realizzazione degli attraversamenti di via dell'Aviazione con gli scarichi delle cunette delle aree di rimodellazione.

10 OCCUPAZIONE TERRENI E PROPRIETÀ PRIVATE

Il progetto prevede l'occupazione permanente di terreni accatastati come "Demanio Pubblico dello Stato Ramo Aeronautica", "Comune di Milano" e "Azienda di servizi alla persona Istituti milanesi Martinitt e Stelline e Pio Albergo Trivulzio". Prevede altresì l'occupazione temporanea, oltre che di terreni demaniali e privati, anche di terreni coltivati.

Pertanto è stato predisposto il Piano Particolare di Esproprio.

Va segnalato un particolare problema in via Camaldoli. L'Autorità competente dovrà provvedere a far rimuovere gli ostacoli esistenti in aderenza al muro parapetto-arginale, in corrispondenza delle abitazioni site in quasi aderenza con la sponda destra del Lambro a valle di sez. 69.82, per poter realizzare il rinforzo/rialzo del parapetto di sponda. Si dovrà peraltro provvedere a consentire l'accesso da dette proprietà private/abitazioni al muro spondale per l'esecuzione dei lavori.

11 CONCLUSIONI

Nel presente progetto definitivo si è proposta la soluzione del problema degli allagamenti del sedime aeroportuale di competenza ATA/SEA con il risezionamento del Lambro in modo conforme a quanto previsto dagli studi del Politecnico di Milano 2007, per SEA: "Studio del fiume Lambro - modellazione 1D e 2D", e del prof. Franzetti 2009, per ATA : "Studio di allagamenti e pericolosità in sponda destra in condizioni attuali e di progetto", come previsto dalla Convenzione AIPO- ATA (ora PrimeAviationServices) del luglio 2011.

Si prevede **la realizzazione delle opere nei mesi asciutti, soprattutto invernali**, quando sono più basse le portate filtranti negli scavi e quelle defluenti nel fiume. Per una opportuna conoscenza, ai fini della organizzazione dei lavori e della valutazione delle possibilità di morbide/piene distribuite lungo l'anno, nell'allegato progettuale All. 0 sono riportate le registrazioni di portate e livelli rilevati in via Feltre (Milano) negli ultimi anni. Il capitolato prevede quindi che l'Impresa provveda costantemente ad aggiornarsi sulle previsioni meteorologiche settimanali/bisettimanali e sulle varie indicazioni di allerta della Protezione Civile.

In particolare, ma non esclusivamente, per i lavori di 1° fase, per poter realizzare le opere previste entro il primo anno d'attività, l'Impresa dovrà organizzarsi in varie squadre agenti contemporaneamente nelle diverse zone previste (Bypass, Traversa di Linate, a monte e a valle della stessa, via Camaldoli).