

COMUNE DI LENNA
Provincia di Bergamo

MODELLAZIONE IDRAULICA DI UN TRATTO DEL FIUME
BREMBO PER LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI
RISCHIO NEI TERRITORI DI FASCIA C DEL P.A.I.,
DELIMITATI CON SEGNO GRAFICO “LIMITE DI
PROGETTO TRA LA FASCIA B E LA FASCIA C”
(AREA DI ESPANSIONE INDUSTRIALE)

Relazione tecnica



Settembre 2003

INDICE

1. PREMESSE	3
2. IMPOSTAZIONE DEL LAVORO.....	4
3. IL MODELLO IDRAULICO	5
2.1. Profilo di moto permanente	5
2.2. Ipotesi di calcolo adottate.....	7
4. ANALISI DEI RISULTATI.....	10
APPENDICE A – Tabelle con coordinate e quote delle sezioni topografiche rilevate	
APPENDICE B – Modellazione idraulica con Hec Ras dello stato di fatto	

Documenti consultati:

- Comunità montana della Valle Brembana: *Studio idraulico finalizzato alla verifica delle condizioni di inondabilità delle aree di espansione industriale nel territorio comunale di Lenna (BG)* – Ing. G. Barbero, dott. D. Barbano (gennaio 1997);
- Comunità montana della Valle Brembana: *Analisi delle delimitazioni delle fasce fluviali del F. Brembo nel tratto Villa d’Almè – Lenna (BG) definite dall’ autorità di Bacino del fiume Po* - Ing. G. Barbero, dott. D. Barbano (aprile 1999);
- Comunità montana della Valle Brembana: *Osservazioni al progetto di “Piano stralcio per l’assetto idrogeologico (P.A.I.)”* - Ing. G. Barbero, dott. D. Barbano (ottobre 1999);
- Comunità montana della Valle Brembana: *Limite di progetto tra le fasce fluviali B e C nel tratto di fondovalle del F. Brembo in corrispondenza della zona industriale di Lenna(BG) – interventi di riassetto territoriale e di difesa idraulica* - Ing. G. Barbero, dott. D. Barbano (gennaio 2000);
- Comune di Lenna: *Indagini geologiche-geotecniche a supporto della revisione del PRG Comunale* – dott. F. Finotelli (gennaio – giugno 2000)
- Comune di Lenna: *Studi integrativi a supporto della richiesta del raggiungimento delle condizioni di esonero ai sensi dell’art. 18 delle N.d.A. del P.A.I. e proposta di modifica del quadro del dissesto del territorio* – dott. M. Spada, dott. G.M. Orlandi (novembre 2002)
- Normative tecniche della Regione Lombardia e dell’ Autorità di Bacino del fiume Po relative al PAI – fasce fluviali

1. PREMESSE

La presente relazione tecnica ci è stata commissionata dal Comune di Lenna (BG) ed ha lo scopo di effettuare la modellazione idraulica del tratto di fiume Brembo all'interno del territorio Comunale con lo scopo di valutare le condizioni di rischio nei territori di fascia C, delimitati con segno grafico indicato come "limite di progetto tra la fascia B e la fascia C" sulle carte PAI.

La zona specifica è di estremo interesse per il Comune di Lenna e per tutta l'alta valle Brembana, considerata la presenza di una importante area industriale, con possibilità di potenziamento, elemento di estremo interesse in zone montane.

Proprio per questo sull'area sono stati eseguiti una serie di studi a carattere idraulico (vedi elenco dei "documenti consultati" a pag. 2) e di approfondimenti, a partire dalla pubblicazione delle carte del rischio idraulico ISMES, proseguendo con le osservazioni alle varie fasi di pubblicazioni del PAI.

La definitiva pubblicazione della versione finale del PAI ha fissato il tracciamento delle fasce fluviali A, B, B di progetto e C, accogliendo in parte e rigettando, per la maggiore parte, le varie osservazioni prodotte dal Comune e dalla Comunità Montana, soprattutto quelle relative allo svincolo dell'area compresa tra il fiume Brembo e via dell'Industria (attualmente fascia B).

Nel novembre 2002 sono stati prodotti gli studi integrativi per l'adeguamento dello studio geologico del Comune L.R. 41/97 al PAI ed in seguito al parere del Servizio Geologico Regionale sono stati sollevati alcuni problemi relativamente alla normativa vigente nella classe di fattibilità 3a1 (classe C retrostante un limite B di progetto).

E' quindi stata fatta una riunione con gli Amministratori del Comune e con i Tecnici della Regione Lombardia, in cui è stato concordato di effettuare una serie di analisi idrauliche aggiornate, utilizzando i dati già pubblicati dall'Autorità di Bacino e le procedure indicate dalla stessa Autorità e dalla Regione Lombardia per verificare il grado di rischio nei territori in fascia C delimitati da una fascia B di progetto (zona industriale di Lenna) e stabilire una normativa puntuale che vincoli le aree e regoli gli usi urbanistici.

La presente relazione contiene le analisi della modellazione idraulica effettuata sull'area specifica ed il commento dei risultati ottenuti; la proposta di normativa e di vincolistica sulle aree è contenuta nell'apposita relazione che fa parte del presente studio.

2. IMPOSTAZIONE DEL LAVORO

L'impostazione del presente lavoro fa riferimento a quanto previsto dalle normative tecniche in materia e precisamente:

- D.G.R. 11 dicembre 2001 n° 7/7365 – allegati 2 – 3 “Indirizzi per la valutazione delle condizioni di rischio nei territorio della fascia C, delimitati con segno grafico indicato come “limite di progetto tra la fascia B e la fascia C”
- D.G.R. 29 ottobre 2001 n° 7/6645 – allegato 3 “Criteri di compatibilità idraulica e proposte di uso del suolo nelle aree a rischio idraulico”
- Autorità di Bacino del Fiume Po “Direttiva per la verifica della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico in fascia A e B”

Il lavoro è poi stato strutturato come di seguito dettagliato:

- Analisi e verifica di tutti gli studi ed i documenti disponibili, con particolare riferimento alle verifiche idrauliche
- Sopralluoghi preliminari in loco per individuazione delle sezioni topografiche da verificare e di eventuali elementi topografici da individuare
- Rilievo ex novo delle sezioni topografiche trasversali dell'alveo, del profilo longitudinale dell'alveo ed aggancio delle stesse al fotogrammetrico Comunale
- Rilievi di dettaglio in loco, per individuare le caratteristiche di deflusso del fiume e le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e vegetazionali delle zone di deflusso
- Modellazione idraulica in condizioni di moto permanente con appositi codici di calcolo, come di seguito dettagliato
- Tracciamento dei livelli di piena sulle singole sezioni topografiche, confronto delle stesse con le quote del fotogrammetrico Comunale e tracciamento delle aree esondabili
- Confronto critico ed integrazione dei dati della modellazione idraulica con gli elementi desumibili dai rilievi eseguiti in loco e dalle informazioni relative a precedenti fenomeni di esondazione
- Tracciamento definitivo delle aree di espansione in tempo di piena con tempo di ritorno di 200 anni e relativo commento delle situazioni individuate

3. IL MODELLO IDRAULICO

La simulazione idraulica rappresentata viene condotta ricercando il profilo di moto permanente della corrente idrica, connesso ad una assegnata portata. Le considerazioni che seguono hanno lo scopo di evidenziare le premesse teoriche ed i presupposti secondo cui vengono condotti i calcoli, che, nel caso in esame, vengono eseguiti con l'ausilio del software applicativo HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center, utilizzato da numerose università italiane, ed ormai assunto come standard sia dalle maggiori società nazionali che forniscono di servizi di ingegneria che da numerosi enti pubblici.



2.1. *Profilo di moto permanente*

Il modellatore idraulico si prefigge lo scopo di tracciare il profilo di corrente, calcolandone l'altezza d'acqua incognita e ottenendo tutti i parametri idraulici ad essa connessi. Il programma procede in prima analisi risolvendo l'equazione di conservazione dell'energia o equazione di Bernoulli, che esprime l'energia H di una corrente come

$$H = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

dove:

z = quota del fondo

y = altezza del pelo libero

$\alpha \frac{V^2}{2g}$ = energia cinetica dipendente dalla velocità V della corrente

Inserita la quota di fondo z, poiché la velocità V della corrente dipende dalla altezza d'acqua y, il programma risolve l'equazione di conservazione dell'energia tra una determinata sezione e quella di monte, ricercando, tramite opportuni algoritmi di calcolo, la corretta altezza d'acqua y che soddisfi la relazione di Bernoulli

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{12}$$

con: H_1 = energia nella generica sezione 1

H_2 = energia nella generica sezione 2, a monte della sezione 1

ΔH_{12} = perdite di carico tra la generica sezione 1 e la sezione 2

Nel caso ci si trovi in presenza di correnti veloci, le variazioni di energia in funzione dell'altezza d'acqua diventano troppo repentine e l'algoritmo di calcolo passa automaticamente a trattare il problema idraulico del tracciamento dei profili in moto permanente, attraverso l'imposizione dell'equazione di equilibrio della quantità di moto, cioè sostanzialmente un equilibrio delle forze agenti nel tratto tra due sezioni successive che può essere espressa come

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\frac{\beta V^2}{gA} + i - \frac{\tau_0}{\gamma R} - (2\beta V - u) \frac{q}{gA} - \frac{V^2}{g} - \frac{d\beta}{dx}}{1 - Fr^2}$$

dove:

B= larghezza del pelo libero;

V= velocità media nella sezione;

q= portata per unità di larghezza;

u= componente secondo l'asse della velocità della portata q;

β = coefficiente di Boussinesq;

τ_0 = tensione tangenziale media sul perimetro bagnato;

Fr= numero di Froude caratteristico della corrente, $Fr = V / \sqrt{gA/B}$

Il calcolo viene condotto verso monte se la corrente è lenta, verso valle se è veloce. Il numero di Froude, rapporto tra la velocità media della corrente e la velocità di propagazione delle perturbazioni, fornisce indicazioni sulla caratteristica della corrente: se il n.° di Froude è maggiore di 1 si ha corrente veloce, se minore di 1 si ha corrente lenta. Il passaggio dalla condizione di corrente lenta a veloce nel senso

del moto avviene in modo continuo, passando attraverso la condizione critica k. Il passaggio inverso si manifesta attraverso la localizzazione del risalto idraulico, con il conseguente calcolo delle altezze coniugate.

2.2. Ipotesi di calcolo adottate

L'indagine ha interessato il tratto del fiume Brembo di Carona ricadente nel comune di Lenna, per un tratto di più di 1200m, tra la piccola briglia in prossimità della chiesa e la confluenza con il ramo di Mezzoldo, in adiacenza alla zona industriale del comune (Via delle Industrie).

In tale tratto sono state rilevate ex novo 12 sezioni topografiche di dettaglio, estese in tutta la zona golenale e numerate da 1 a 12, localizzate in modo che fossero immediatamente confrontabili con quelle individuate nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.), numerate da 122 a 135; sulle tavole grafiche viene riportata la doppia numerazione e la relativa corrispondenza.

Lungo lo sviluppo del fiume non sono presenti manufatti di rilievo che possano deviare la corrente, o immissioni puntuali che varino la portata di deflusso; Il fondo alveo si presenta formato da ciottoli di diversa pezzatura.



La sponda sinistra del corso d'acqua si presenta rocciosa, ripida e scoscesa, atta a contenere qualsiasi innalzamento del livello idrico; viceversa la sponda destra presenta ampi terrazzamenti, che fungono da cassa di espansione a vari livelli per il corso d'acqua.



Nella ricostruzione del profilo si è tenuto conto dei diversi parametri di scabrezza del fondo a seconda che l'alveo sia naturale, inerbito, o antropizzato:

- ❑ K strickler = 35 per l'alveo principale, con ciottoli di diametro medio di 50 cm;
- ❑ K strickler = 45 per le zone golenali, inerbite e pianeggianti, nelle quali sono presenti strade;

La simulazione idraulica ha consentito di individuare le quote dei livelli idrici per ogni sezione assegnata e per una determinata portata di calcolo, portata evinta dalle tabelle delle Norme di attuazione della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", redatta nell'ambito del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.). In relazione ad un tempo di ritorno di 200 anni, il piano fornisce per il tratto in esame una portata di **650 m³/s**, assunta come dato di input per il calcolo.

Le condizioni al contorno per il tracciamento del profilo in moto permanente nel tratto di torrente in esame vengono definite sulla base della caratteristica della corrente, che risulterà vincolata a valle se l'alveo è a debole pendenza e a monte se a forte pendenza.

Nell'appendice A vengono riassunti i risultati della simulazione condotta al fine di verificare i livelli idrici assunti dal corso d'acqua sollecitato da una portata con tempo di ritorno di 200 anni, pari a $650 \text{ m}^3/\text{s}$, nelle attuali condizioni dell'alveo. In particolare viene indicato:

- la planimetria con l'ubicazione delle sezioni;
- il profilo longitudinale del canale, con il profilo di corrente in moto permanente;
- la traccia delle sezioni trasversali con l'indicazione del profilo di corrente;
- una tabella che riassume per ogni sezione i seguenti parametri caratteristici di calcolo: i dati di input utilizzati nella definizione della geometria del problema e delle condizioni idrauliche al contorno, e quelli di output come appunto l'altezza d'acqua ed i parametri ad essa coniugati (la pendenza della linea dell'energia, la velocità della corrente, ecc...); in particolare sono indicati
 - valori di portata (Q total);
 - distanze parziali tra la sezione in oggetto e quella successiva di valle (Length Channel);
 - distanze progressive tra la sezione in oggetto e quella iniziale (Cumulate Channel Length);
 - quota del fondo del canale (Min Channel Elevation);
 - coefficiente di scabrezza di Manning (Mann Wtd Total);
 - quota d'acqua (Water Surface Elevation);
 - altezza media d'acqua (Hydr Depth);
 - altezza critica (Critic Water Surface);
 - altezza e pendenza della linea dell'energia (E.G Elevation and Slope);
 - velocità della corrente (Velocity Channel);
 - area di flusso (Flow Area);
 - n. di Froude (Froude # Channel).
- il modello tridimensionale utilizzato per la simulazione del tratto di canale.

Occorre precisare, coerentemente con quanto messo in evidenza dalle comuni esperienze professionali in tale ambito, che i valori ipotizzati subiscono le incertezze legate alle elaborazioni statistiche di base, e pertanto si considerano accettabili variazioni delle stime dell'ordine del 20-30%.

Nell'ultima colonna del tabulato di calcolo, viene riportato il numero adimensionale di Froude, che indica il regime della velocità della corrente, ed essendo sempre maggiore dell'unità si può evincere, anche dai calcoli, la caratteristica della corrente veloce, tranne nella sezione 123, dove l'altezza dell'acqua e l'altezza di stato critico si equivalgono.

4. ANALISI DEI RISULTATI

Dalla simulazione svolta, ed in particolare dal profilo longitudinale, si osserva come l'alveo si presenti molto variabile nella pendenza (mediamente pari a 0.05), con tratti (sez.131 – sez.132) addirittura in forte contropendenza: il livello d'acqua resta apparentemente costante, ma è in queste sezioni che l'acqua inizia a trovare vie di fuga laterali.

Nelle sezioni trasversali infatti si nota come nel tratto iniziale non sono presenti fenomeni di esondazione, ma nella successiva sez.130 e nelle sezioni immediatamente seguenti l'acqua trovi in destra idrografica una successione di pianori, il più delle volte giacenti alla stessa quota di scorrimento dell'acqua, e comunque protetti da argini locali che risultano, anche se di poco, facilmente sormontabili. E' questa l'area giacente a sud di via dell'Industria, attrezzata con impianti sportivi, che fungerà più frequentemente da cassa di espansione per il corso d'acqua. Infatti pur non apparendo manifesto l'allagamento di tale zona nella successiva sez.129, è facilmente intuibile dalla conformazione altimetrica del terreno che l'acqua possa invaderla per l'esondazione avvenuta più a monte.

La sez.128 successiva riproduce una altimetria non caratteristica della conformazione del terreno circostante, ma riproduce una situazione locale, che risulta così linearmente degradante e pianeggiante solo a causa della viabilità perpendicolare al corso d'acqua: in tale tratto l'acqua si allontana dall'alveo per più di 100m, ma non è altrettanto vero che lo faccia immediatamente a valle; in questo il modello, interpolando la conformazione del terreno tra una sezione e la successiva, si discosta dalla realtà, ipotizzando comunque una conformazione più sfavorevole, perché priva di contenimenti.

Nella sez.126, il corso d'acqua trova ampio sfogo nella zona di asciutta compresa tra i due rami in cui si trova diviso, e le esondazioni laterali diventano di modesta entità, grazie anche all'orlo del terrapieno di 1-2m, che contiene la vena liquida con un adeguato franco di sicurezza.

Analogo fenomeno è presumibile che accada nella sezione 125 ed in quelle seguenti, in cui l'acqua si estende per circa 120m, superando un primo contenimento, ma comunque rientrando all'interno dell'alveo nel tratto più a valle, limitata dal piano più alto di circa 2m su cui si trovano le ultime fabbriche prima della confluenza con il ramo di Mezzoldo.

Appendice A

Tabelle con coordinate e quote delle sezioni topografiche rilevate

Appendice B

Modellazione idraulica con Hec-Ras

Stato di fatto $Q_{T200} = 650 \text{ m}^3/\text{s}$