




ENTE ATTUATORE	 <h1>PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO</h1> <p>Via Veneto, 19 - 20844 Triuggio (MB) - Tel. 0362970961-997137 - Fax 0362997045 L.R. 16-09-83 N. 82 web: www.parcovalldelambro.it - web: www.progettolambro.it</p>		
	 <p>PROGETTO LIFE+ 2011 LIFE11 ENV/IT/004</p>		
FINANZIAMENTO	 <p>fondazione cariplo</p>		<p>BANDO FONDAZIONE CARIPLO 2011</p>

PROFESSIONISTI INCARICATI E GRUPPO DI LAVORO	<p><i>PROGETTAZIONE GENERALE, ASPETTI IDRAULICI:</i></p>    <p>Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI</p>		
	<p><i>PROGETTAZIONE GENERALE:</i></p> <p>Dott. Ing. MASSIMO SARTORELLI</p>	<p><i>PROGETTAZIONE GENERALE:</i></p> <p>Dott. Ing. ROBERTO BENDOTTI</p>	<p><i>ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI:</i></p> <p>Dott. Geol. PAOLO DAL NEGRO</p>
	<p><i>ASPETTI GEOLOGICI:</i></p> <p>Dott. Geol. BARBARA BOCCA</p>	<p><i>ASPETTI FORESTALI E VEGETAZIONALI:</i></p> <p>Dott. For. SILVIA CLERICI</p>	<p><i>ASPETTI COMPONENTE BIOTICA:</i></p> <p>Dott. ANDREA ROMANO</p>
	<p>REDAZIONE</p> <p>C. G. Passoni</p>	<p>VERIFICA</p> <p>C. G. Passoni</p>	<p>APPROVAZIONE</p> <p>A. Paoletti</p>

OPERA	<h2>AFFINAMENTO DEPURATIVO A VALLE DEL DEPURATORE IN COMUNE DI NIBIONNO</h2>		
FASE PROGETT.	<h3>PROGETTO ESECUTIVO</h3> <p>FEBBRAIO 2015</p>		
DESCR. ELABOR.	<h3>RELAZIONE DI CALCOLO: SCOGLIERE E CORAZZAMENTI</h3>		
Revisioni	1		
	2		
Numero elaborato	TIPOLOGIA PE	COMMESSA 365-04	DOCUMENTO RC
			NUMERO B.06.00



INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	2
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN ALVEO.....	4
4. RIFERIMENTI ALLO STUDIO IDRAULICO DEL LAMBRO	6
5. CALCOLI DI STABILITÀ DELLE SPONDE	11
6. CALCOLI DI STABILITÀ DEL FONDO.....	14
6.1 STABILITÀ IDRAULICA DEL FONDO	14
6.2 CALCOLO DEL CORAZZAMENTO DEL FONDO ALVEO	15



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'area	2
Figura 2 – Stralcio planimetrico che evidenzia il tratto di F.Lambro analizzato nel progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo, fornito agli scriventi dal Parco Regionale Valle Lambro (<i>Rif. Relazione idrologico-idraulica progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo, figura n.01</i>).....	6
Figura 3 - Stralcio planimetrico che evidenzia l'andamento plano-altimetrico dell'area del depuratore da DTM nella situazione attuale (<i>Rif. Tavola T.02 Rilievo topografico e DTM stralcio di monte del progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo</i>).....	7
Figura 4 - Stralcio planimetrico che evidenzia le aree di esondazione nello scenario A (<i>Rif. Tavola T.04 Aree allagabili – scenario A stralcio di monte, del progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo</i>).....	7
Figura 5 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 510 di interesse per la scogliera della vasca nord	9
Figura 6 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 500 di interesse per la scogliera intermedia	9
Figura 7 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 490 di interesse per la scogliera della vasca sud	10
Figura 6 – Condizioni di equilibrio su sponda inclinata.....	13
Figura 7 - Condizioni di equilibrio dinamico del fondo alveo	14

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo per il tratto di monte di interesse per il progetto in esame: scenario attuale	8
Tabella 2 – Risultati dei calcoli di stabilità delle sponde in corrispondenza delle scogliere in progetto	13



RELAZIONE DI CALCOLO DI SCOGLIERE E CORAZZAMENTI

1. PREMESSA

Il Parco Regionale della valle del Lambro ha conferito al presente RTP l’incarico per la redazione del progetto definitivo ed esecutivo, sicurezza in fase di progettazione e direzione dei lavori delle *“Opere di affinamento depurativo a valle del depuratore in Comune di Nibionno”*, sulla base delle indicazioni del progetto preliminare redatto dagli uffici tecnici del Parco stesso.

Tale intervento si inserisce nel più generale obiettivo di risanamento delle acque del fiume Lambro, e prevede la realizzazione di un sistema di finissaggio, con tecniche naturali, delle acque depurate dell’impianto di depurazione di Nibionno (LC) e, in una fase transitoria, prima dell’adeguamento dello sfioratore di emergenza del collettore di Lurago Lambrugo, anche delle acque di sfioro di prima pioggia, che attualmente vengono scaricate senza trattamenti nel fiume Lambro.

Il progetto definitivo è stato redatto nel Dicembre 2014 e approvato in Conferenza dei Servizi in seduta unica in data 18 dicembre 2014, con richiesta di approfondimento e modifica di alcuni aspetti tecnici di dettaglio in sede di progettazione esecutiva, come descritto nella relazione generale, atto A.01.00.

Il presente progetto riguarda la formazione di vasche di affinamento depurativo a valle del depuratore di Nibionno. Gli interventi prevedono la risagomatura di zone esistenti limitrofe alle aree dove sorge il depuratore, lungo la sponda sinistra del fiume Lambro, mediante scavi e parziali risagomature sia in corrispondenza delle vasche sia lungo le tubazioni di alimentazione delle stesse a partire dal manufatto di distribuzione posto a valle dell’attuale clorazione finale. Gli interventi prevedono anche la formazione di alcuni tratti di scogliera lungo la sponda del Lambro, a protezione delle vasche stesse in corrispondenza di aree già in forte erosione.

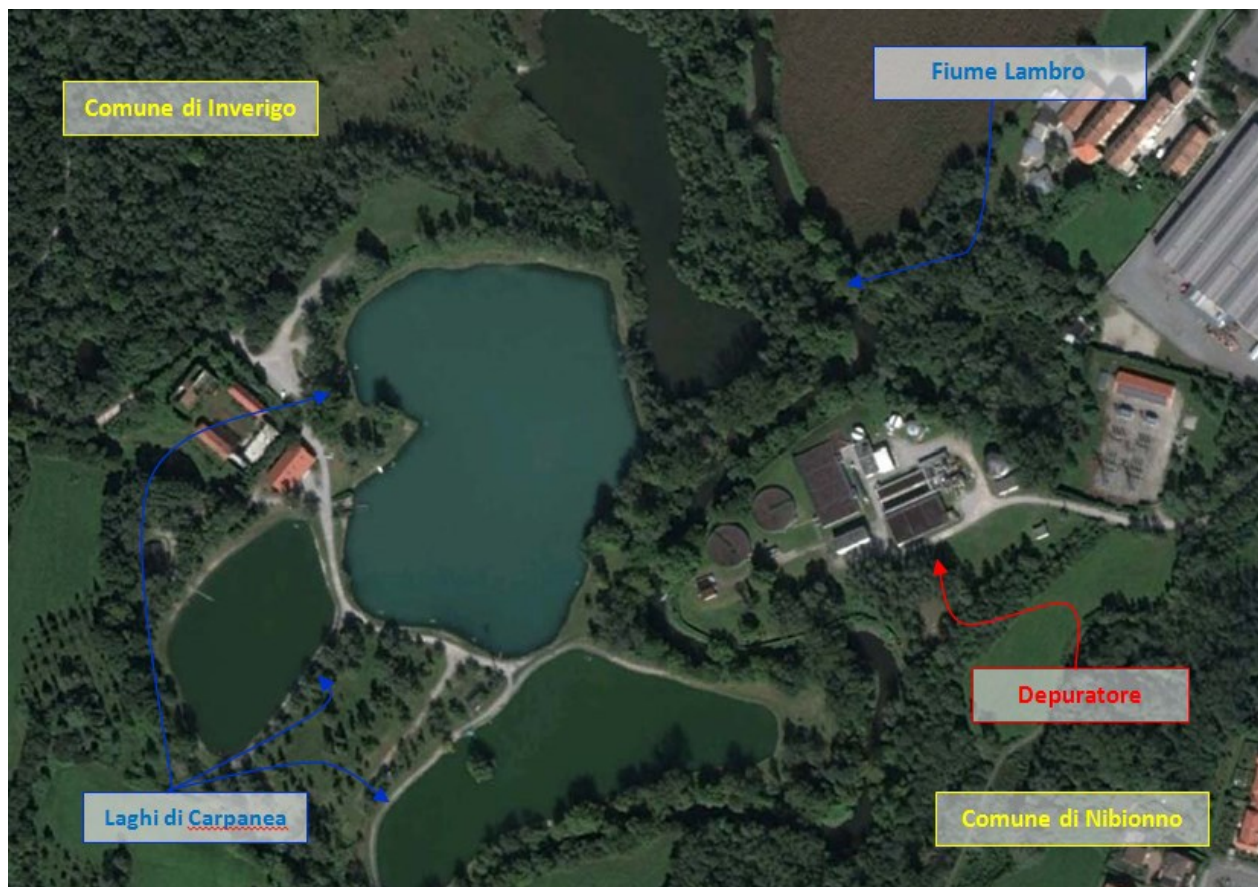


2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Gli interventi di progetto sono situati nel Comune di Nibionno (LC), al confine con il Comune di Inverigo (CO). L'intervento è localizzato in aree limitrofe al depuratore di Nibionno, in sponda sinistra del Fiume Lambro che, dopo l'uscita dal lago di Pusiano e l'immissione dell'emissario del Lago di Alserio, scorre lungo tutta la Brianza assumendo un andamento tortuoso ai piedi delle colline moreniche tipiche del paesaggio brianzolo. In particolare l'impianto di Nibionno si trova a meno di un chilometro a valle dalla confluenza della Bevera di Tabiago in sinistra idraulica del Lambro.

Le aree limitrofe sono caratterizzate dalla presenza di diversi laghetti di cava, ubicati in sponda orografica destra.

Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'area



L'ambito d'intervento è inserito in aree di pertinenza dell'impianto di depurazione esistente, caratterizzate dalle fasce fluviali naturali e/o pseudo-naturali vegetate che costeggiano il Lambro. In questo tratto il fiume presenta un alveo a sponde naturali, caratterizzate da una



vegetazione riparia spontanea, rappresentata da specie autoctone, ecologicamente compatibili con i luoghi, quali i saliceti, e anche specie alloctone, rappresentate dai robinieti.

Sulla sponda sinistra fluviale, in un'ansa del fiume, è presente il depuratore di Nibionno che recapita nel fiume Lambro sia le acque provenienti dallo scaricatore ordinario che le acque di sfioro dello scaricatore di testa del depuratore. Queste ultime acque, non subendo alcun trattamento di depurazione, contribuiscono in maniera significativa all'apporto di inquinanti nel corpo idrico soprattutto per quanto riguarda i carichi di BOD₅, solidi sospesi, azoto ammoniacale e tensioattivi. Nei periodi di pioggia la contemporanea presenza delle acque sversate dallo sfioratore di testa del depuratore e di quelle dell'effluente ordinario contribuiscono significativamente all'apporto di sostanza organica nel Fiume Lambro.

Le sponde del F.Lambro nell'area d'intervento sono state oggetto nel tempo di interventi localizzati di protezione con scogliere, in realtà spesso sprovviste di berma adeguata, che si trovano al momento in situazione di parziale dissesto.

La presenza di una quota di pelo libero sempre significativa e la torbidità media delle acque per la presenza di limo e materiali in sospensione impediscono di verificare l'effettivo stato delle opere di protezione esistenti.

La scogliera in progetto è prevista nei punti di maggiore rischio di erosione, a protezione delle opere di affinamento depurativo previste.



3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN ALVEO

In progetto sono previsti tre tratti di sistemazione spondale della sponda sinistra del F.Lambro con scogliere di adeguate dimensioni:

- il primo tratto, di lunghezza pari a circa 50 m, è previsto in corrispondenza della vasca Nord. Qui, infatti, la sponda del F.Lambro si trova in curva esterna e risulta in forte erosione, come dimostrato dai sopralluoghi e dai rilievi base forniti dal Committente e utilizzati per la progettazione. Risulta, pertanto, indispensabile provvedere alla protezione delle opere in progetto. Tale protezione è prevista, per una lunghezza di circa 23 m nei pressi della tubazione di scarico, con scogliera di altezza complessiva pari a circa 2.75 m oltre alla berma di circa 2.00 m, con sommità alla quota 237.00 m s.m. corrispondente alla quota sponda esistente, costituita da massi di diametro pari a circa 1.0 m e per una lunghezza di circa 28 m (a monte e in continuità con quella più alta), con scogliera di altezza complessiva pari a circa 1.50 m oltre alla berma di circa 2.00 m, anch'essa costituita da massi di diametro pari a circa 1.0 m;
- il secondo tratto, di lunghezza pari a circa 18,5 m, è previsto nei pressi della sezione di monte della vasca Sud, ove è collocata l'immissione della tubazione di alimentazione. Qui, infatti, la sponda del F.Lambro risulta in forte erosione, come dimostrato dai sopralluoghi e dai rilievi base forniti dal Committente e utilizzati per la progettazione. Risulta, pertanto, indispensabile provvedere alla protezione delle opere in progetto. Tale protezione è prevista con scogliera di altezza complessiva pari a circa 3.25 m oltre alla berma di circa 2.00 m, con sommità alla quota 236.50 m s.m. corrispondente alla quota sponda esistente, costituita da massi di diametro pari a circa 1.0 m, per un volume complessivo che supera i 13.5 m³/m;
- il terzo tratto è previsto in corrispondenza della parte di valle della vasca Sud. Qui, infatti, la sponda del F.Lambro si trova in curva esterna e risulta in forte erosione, come dimostrato dai sopralluoghi e dai rilievi base forniti dal Committente e utilizzati per la progettazione. Risulta, pertanto, indispensabile provvedere alla protezione delle opere in progetto. Tale protezione è prevista, per un tratto di circa 23.5 m con scogliera di altezza complessiva pari a circa 3.25 m oltre alla berma di circa 2.00 m, con sommità alla quota 237.00 m s.m. corrispondente alla quota sponda esistente, costituita da massi di diametro pari a circa 1.0 m e per una lunghezza di circa 29 m (a monte e in continuità con quella più alta sopra descritta), con scogliera di altezza complessiva pari a circa



1.50 m oltre alla berma di circa 2.00 m, anch'essa costituita da massi di diametro pari a circa 1.0 m.

Si precisa che la situazione attuale dell'alveo, con particolare riferimento alla forte erosione che caratterizza tutta la sponda sinistra nell'ansa del depuratore di Nibionno, necessiterebbe di interventi di protezione spondale analoghi a quelli previsti in progetto ma estesi a tutto il tratto compreso tra la sezione di monte della vasca Nord e la sezione di valle della vasca Sud. Tali interventi sono solo suggeriti nel presente progetto, poiché il finanziamento disponibile e le sue motivazioni non possono ricomprenderli.



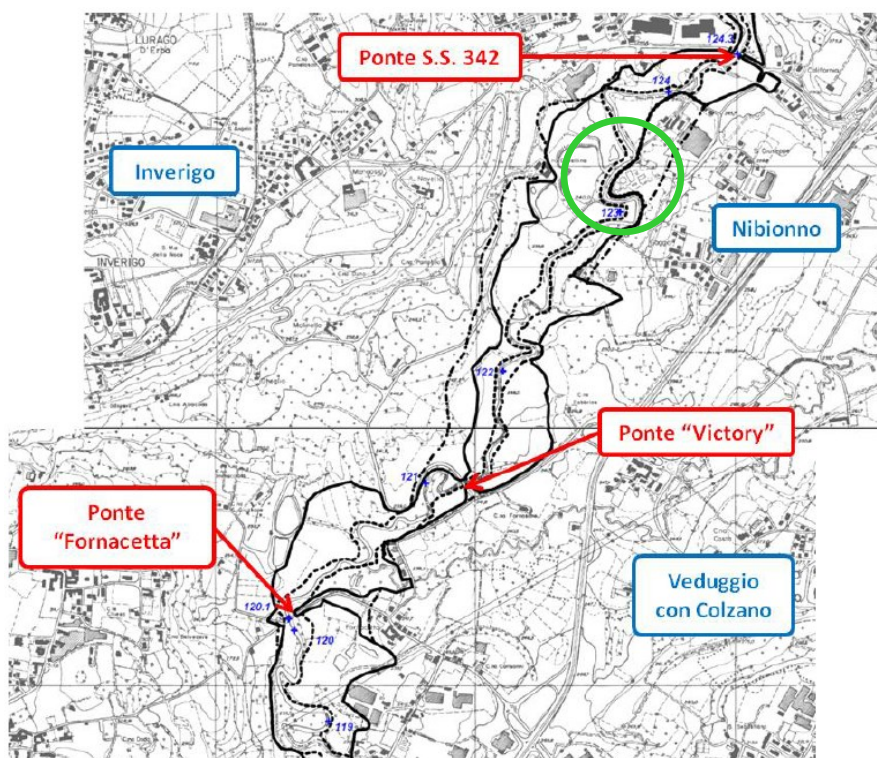
4. RIFERIMENTI ALLO STUDIO IDRAULICO DEL LAMBRO

Per al determinazione delle grandezze idrodinamiche per le verifiche di stabilità delle opere in alveo, si fa riferimento allo studio idraulico redatto per il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo, redatto nel maggio 2014, fornito dalla Committenza Parco Regionale del Lambro.

Con riferimento a ciò si segnala quanto segue:

- a) il tratto di F.Lambro di cui è stato approfondito lo studio nella progettazione citata è riportato nella seguente Figura 2, ove l'area del depuratore oggetto del presente progetto definitivo è indicata con un cerchio verde;

Figura 2 – Stralcio planimetrico che evidenzia il tratto di F.Lambro analizzato nel progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo, fornito agli scriventi dal Parco Regionale Valle Lambro (Rif. Relazione idrologico-idraulica progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo, figura n.01).



- b) l'area su cui insiste il depuratore si trova in area allagabile, all'interno della fascia B di esondazione del F.Lambro, come visibile nelle seguenti Figura 3 e Figura 4 che riportano lo stralcio planimetrico con andamento altimetrico da DTM (da cui sono evidenti le zone dell'area del depuratore più basse) e lo stralcio planimetrico delle aree allagabili della situazione attuale risultanti dallo studio idraulico citato fornito dalla

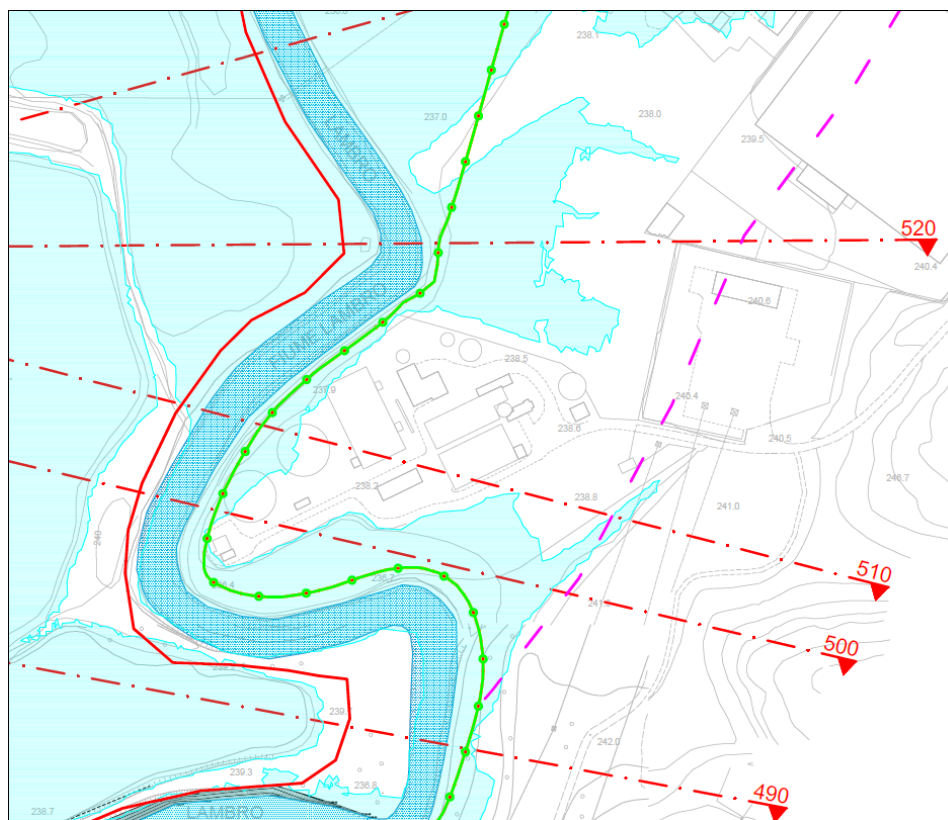


Committenza;

Figura 3 - Stralcio planimetrico che evidenzia l'andamento plano-altimetrico dell'area del depuratore da DTM nella situazione attuale (Rif. Tavola T.02 Rilievo topografico e DTM stralcio di monte del progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo).



Figura 4 - Stralcio planimetrico che evidenzia le aree di esondazione nello scenario A (Rif. Tavola T.04 Aree allagabili – scenario A stralcio di monte, del progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo).





Le sezioni cui occorre riferirsi per la definizione delle grandezze idrauliche in corrispondenza delle opere in alveo sono le seguenti:

- sezione 520 (510) per la scogliera della vasca nord;
- sezione 500 per la scogliera intermedia;
- sezione 490 per la scogliera della vasca sud.

Con riferimento al profilo e alle tabelle di calcolo riportate nella relazione idrologico-idraulica del progetto citato, si ricavano le seguenti grandezze, riferite allo scenario attuale, corrispondente al più gravoso in termini di velocità e portate, riportato nella Tabella 1.

Tabella 1 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo per il tratto di monte di interesse per il progetto in esame: scenario attuale

HEC-RAS Plan: A - Attuale River: Lambro Reach: Inverigo Profile: Max WS

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Inverigo	4547.057 590	Max WS	115.10	237.16	239.11	238.54	239.16	0.001468	1.36	141.82	144.76	0.35
Inverigo	4430.646 580	Max WS	115.08	236.98	238.72	238.60	238.90	0.005583	2.21	83.22	137.62	0.64
Inverigo	4322.79 570	Max WS	115.31	236.79	238.38	238.12	238.47	0.003491	1.67	111.55	159.37	0.50
Inverigo	4146.27 560	Max WS	115.46	234.85	238.07	236.76	238.15	0.001236	1.49	140.81	188.50	0.32
Inverigo	3958.712 550	Max WS	115.74	234.38	238.00	235.93	238.02	0.000277	0.76	291.63	323.92	0.16
Inverigo	3861.219 540	Max WS	116.01	234.50	237.98	236.70	237.99	0.000265	0.74	383.54	375.87	0.15
Inverigo	3795.401 530	Max WS	116.21	234.51	237.95	236.68	237.97	0.000320	0.82	276.97	268.59	0.17
Inverigo	3687.068 520	Max WS	116.54	234.17	237.94	236.37	237.95	0.000069	0.40	397.17	350.37	0.08
Inverigo	3566.631 510	Max WS	116.84	234.13	237.90	236.22	237.93	0.000481	0.86	180.55	237.82	0.20
Inverigo	3522.358 500	Max WS	116.98	234.99	237.89	237.05	237.90	0.000453	0.78	243.77	279.91	0.19
Inverigo	3281.337 490	Max WS	117.21	234.12	237.74	236.24	237.83	0.001115	1.45	134.96	185.50	0.31
Inverigo	3016.292 480	Max WS	117.03	234.28	237.38	237.06	237.53	0.002500	2.02	125.19	198.64	0.45

Sezione	Portata (m ³ /s)	pendenza alveo (m/m)	Velocità (m/s)
510 (per vasca nord)	116.84	< 2 ‰	0.86
500 (per zona intermedia)	116.98	< 2 ‰	0.78
490 (per vasca sud)	117.21	< 2 ‰	1.45



Figura 5 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 510 di interesse per la scogliera della vasca nord

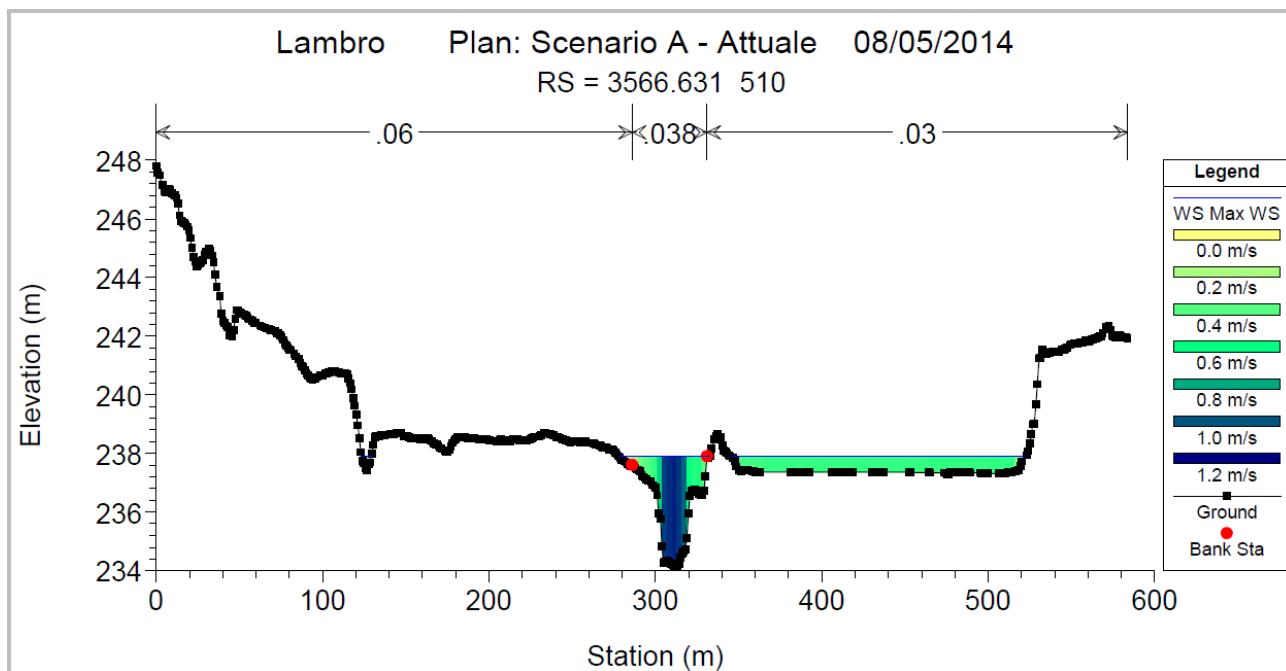


Figura 6 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 500 di interesse per la scogliera intermedia

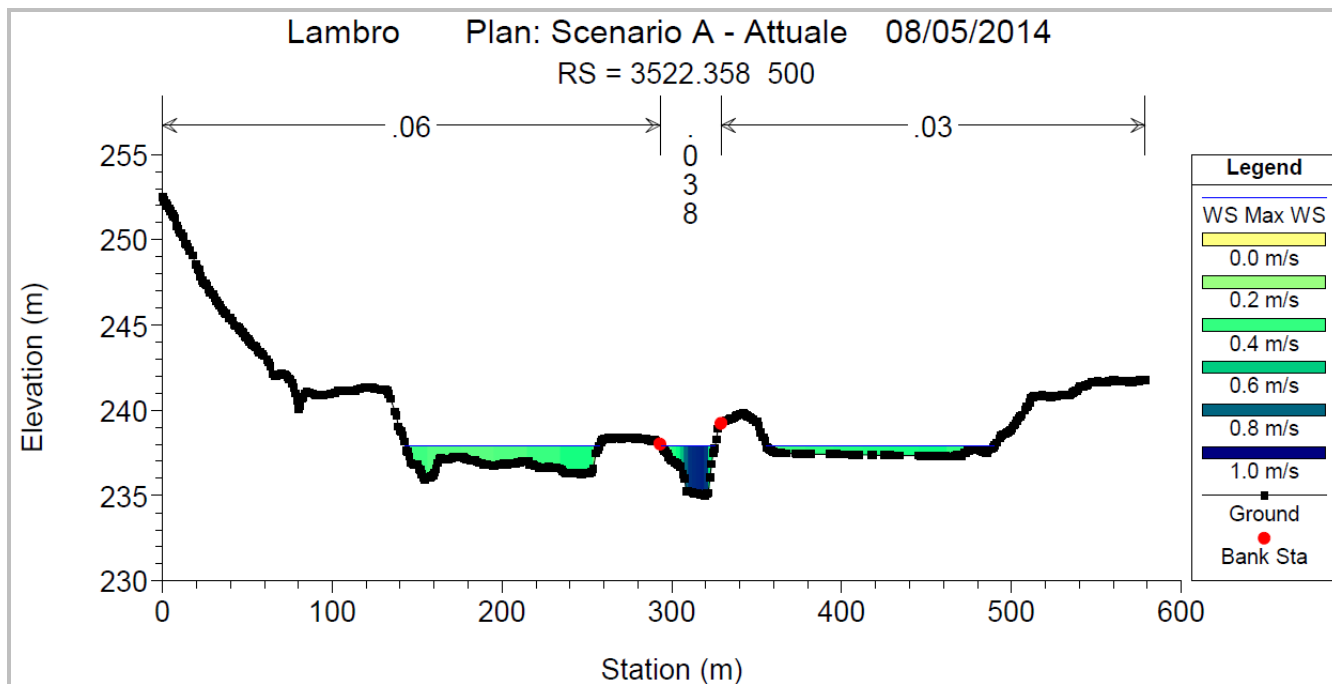
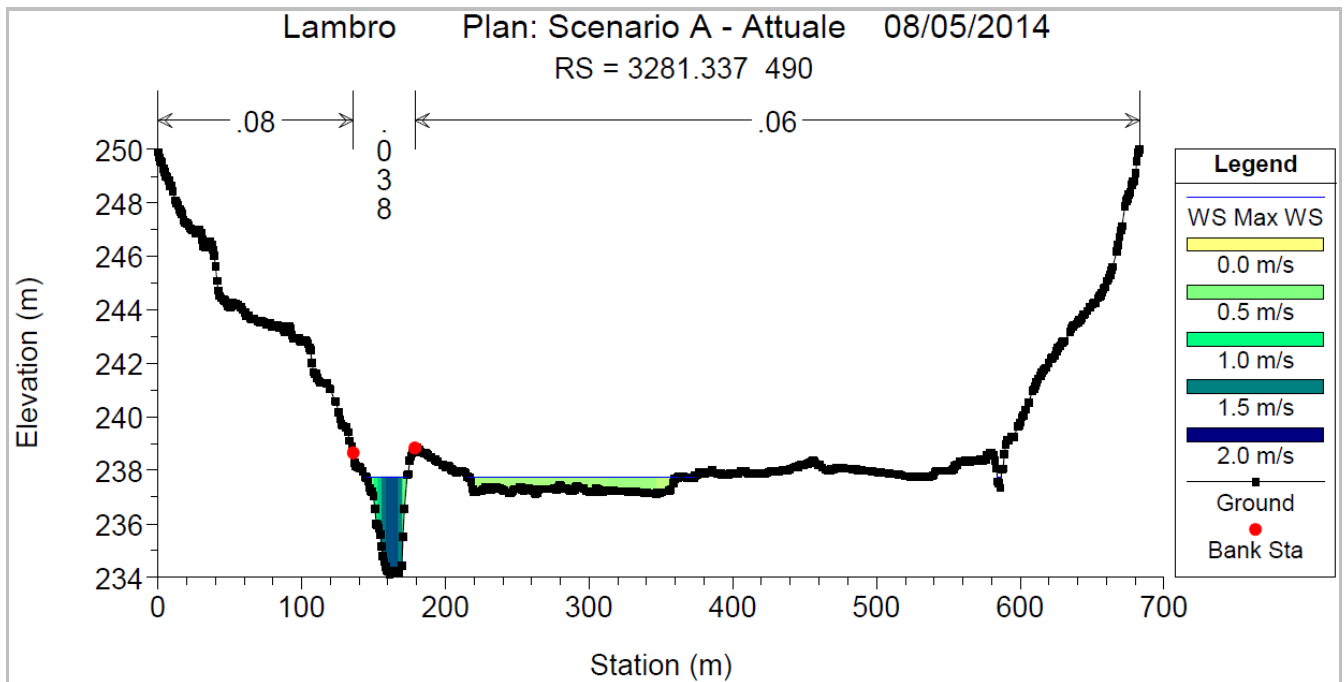




Figura 7 – Risultati dei calcoli dello studio idrologico-idraulico che accompagna il progetto definitivo dell'area di laminazione di Inverigo: sezione 490 di interesse per la scogliera della vasca sud





5. CALCOLI DI STABILITÀ DELLE SPONDE

La dimensione degli elementi costituenti le scogliere a gravità viene usualmente determinata in funzione della pendenza della sponda, con i criteri dell'equilibrio limite, tenendo conto della correzione per la stabilità su sponda inclinata. Il diametro così calcolato viene convenientemente aumentato per ottenere un coefficiente di sicurezza sufficientemente alto.

Stevens et al. (1976), dopo accurata analisi dei momenti delle forze agenti sull'elemento solido, giungono alle seguenti espressioni utili per la determinazione del diametro d'equilibrio su sponda inclinata e quindi per la valutazione dell'opportunità di realizzare scogliere in massi di forma tondeggiante alla rinfusa.

$$\sigma = \frac{21 \tau}{(\gamma_s / \gamma - 1) \gamma d_m} = \frac{0,30 u_r^2}{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_m}$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\cos \lambda}{\frac{2 \sin \Theta}{\sigma \text{tg} \phi} + \sin \lambda} \right)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$C_s = \frac{\cos \Theta \text{tg} \phi}{\sigma' \text{tg} \phi + \sin \Theta \cos \beta}$$

in cui (Figura 8):

d_m è il diametro del masso;

C_s è il coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto P di rotazione (rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti e il momento risultante delle forze ribaltanti);

Θ è la pendenza adottata per la scarpata;

ϕ è l'angolo di riposo in acqua dei massi;

β è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

λ è l'angolo diedro tra il piano orizzontale e il piano inclinato costituente il fondo dell'alveo ($\text{tg} \lambda = i = \text{pendenza del fondo}$);

σ e σ' sono i cosiddetti numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata ed



orizzontale ($\Theta = 0$);

τ è l'azione di trascinamento sul masso;

u_r è la velocità della corrente contro il masso.

La velocità u_r può essere desunta dalla legge logaritmica di distribuzione della velocità sulla verticale Y in un moto assolutamente turbolento (Keulegan, 1938):

$$u(Y) = 2,5 u^* \ln \left(30,2 \frac{Y}{d_m} \right)$$

in cui:

$$u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$$

Integrando l'equazione precedente sulla verticale si ottiene per la velocità media V della corrente:

$$V = 2,5 u^* \ln \left(12,3 \frac{Y_0}{d_m} \right)$$

in cui Y_0 è il tirante idrico.

Ammettendo che la velocità u_r sia corrispondente alla profondità $Y = d_m$, dalle formulazioni si ottiene l'espressione:

$$\frac{u_r}{V} = \frac{3,4}{\ln(12,3 Y_0/d_m)}$$

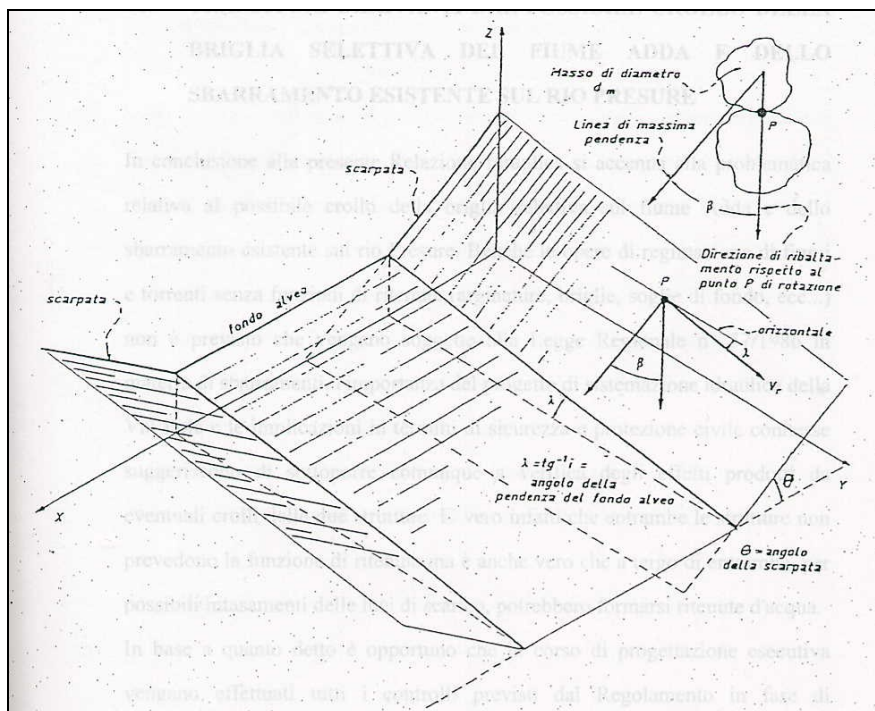
da utilizzare per il calcolo di u_r , avendo precedentemente determinato, con i criteri esposti, la velocità media V e la profondità Y_0 . È però importante ricordare che le equazioni in oggetto valgono per profondità relative $Y_0/d_m > 6$; nel caso invece in cui la scabrezza sia macroscopica ($Y_0/d_m < 6$) e conseguentemente molto alta la turbolenza e l'aerazione della corrente, si può assumere in via pratica:

$$u_r = V$$

In definitiva, le espressioni precedenti consentono di verificare la stabilità di una scogliera. Dati infatti la dimensione d_m dei massi, l'angolo di scarpata Θ , l'angolo di riposo ϕ , calcolata la velocità u_r e la sua direzione, applicando in successione le formulazioni elencate si giunge a calcolare il coefficiente di sicurezza C_s . Se questo è maggiore di 1, la scogliera ha sufficiente stabilità; se $C_s = 1$, l'equilibrio è al limite; se $C_s < 1$, la scogliera è soggetta a franamento. Per una buona sicurezza è auspicabile che C_s sia almeno pari a 1.3.



Figura 8 – Condizioni di equilibrio su sponda inclinata



Nel caso del fiume Lambro nel tratto d'interesse, la scogliera è prevista con massi pari a 1,0 m e pendenza della scarpata pari a 1/1 ($\theta = 45^\circ$).

Le caratteristiche geometriche e di stabilità delle scogliere in oggetto, avendo previsto l'utilizzo di massi dal diametro medio pari a 1.00 m, sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 2 – Risultati dei calcoli di stabilità delle sponde in corrispondenza delle scogliere in progetto

SEZ	Vmax [m/s]	ifondo [%]	λ [rad]	σ	β [°]	σ'	Cs
Scenario attuale							
510 vasca nord	0.86	0.2	0.0020	0.013304	0.769737	0.006755	1.41
500 intermedia	0.78	0.2	0.0020	0.010944	0.633216	0.005544	1.41
490 vasca sud	1.45	0.2	0.0020	0.037821	2.187133	0.01967	1.37

Prevedendo l'utilizzo di massi di diametro medio pari ad 1.00 m, il coefficiente di sicurezza risulta superiore al valore consigliato di 1.3 in tutte le sezioni considerate.

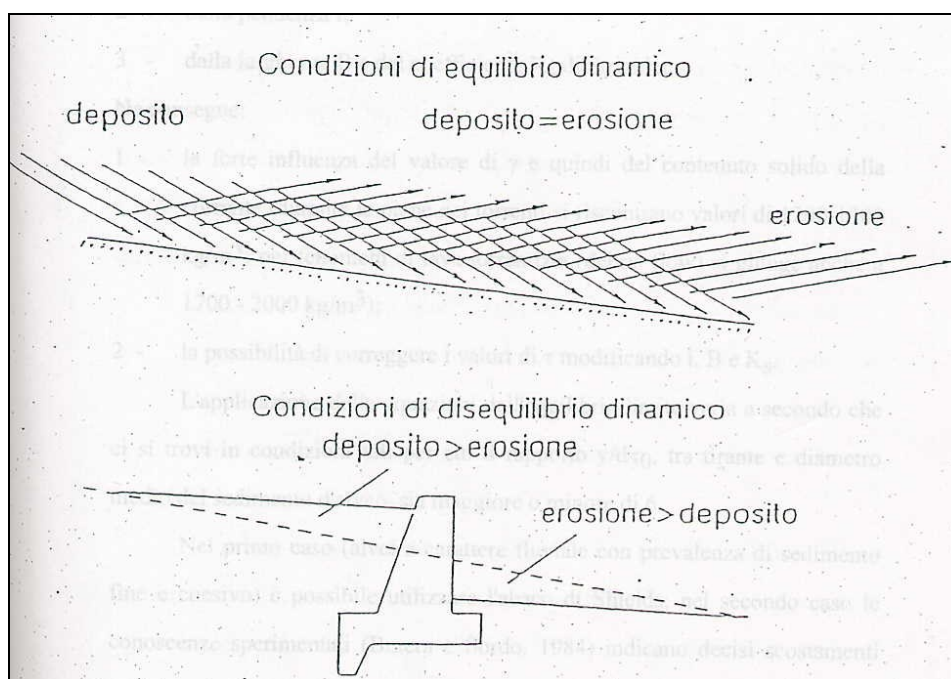


6. CALCOLI DI STABILITÀ DEL FONDO

6.1 STABILITÀ IDRAULICA DEL FONDO

L'evoluzione di un tratto torrentizio dipende dall'equilibrio dinamico esistente tra la portata solida in arrivo da monte e quella asportata dalla corrente. Tale portata dipende dall'azione di trascinamento la cui entità è determinata dalle caratteristiche geometriche (pendenza, larghezza) e idrauliche (scabrezza) dell'alveo.

Figura 9 - Condizioni di equilibrio dinamico del fondo alveo



La modifica di una di tali caratteristiche implica la variazione del diametro equivalente dei ciottoli che risultano in equilibrio.

Le caratteristiche idrauliche del tratto di Lambro in oggetto dimostrano una sostanziale stabilità storica. Tale stabilità come detto è dimostrata dall'assenza di erosioni al fondo e sulle sponde esistenti.

Pertanto, ogni intervento nella zona deve tener conto dell'attuale dinamica ed assecondare la naturale tendenza dell'alveo correggendone dove necessario le evoluzioni più pericolose per le infrastrutture e le sponde, senza tuttavia produrre impatti negativi.



6.2 CALCOLO DEL CORAZZAMENTO DEL FONDO ALVEO

Le analisi effettuate sulla stabilità del fondo in tali zone hanno portato alla definizione del diametro minimo da assegnare ai massi che costituiranno il corazzamento del fondo.

Tale scelta risulta fondamentale per limitare la mobilità del fondo alveo e il pericolo di scalzamento delle opere di corazzamento e proteggere dall'erosione localizzata in corrispondenza dei manufatti in progetto.

La velocità della corrente di piena è messa in correlazione al diametro equivalente dei massi che risultano in equilibrio attraverso la relazione di Izbash:

$$d = C_t \frac{V^2}{g(s-1)}$$

dove:

- C_t è il coefficiente di turbolenza di Izbash, pari a 0,3 per condizioni di bassa turbolenza; 0,5 per condizioni di media turbolenza; 0,7 per condizioni di elevata turbolenza;
- V è la velocità della corrente idrica di piena;
- g è l'accelerazione di gravità pari a $9,81 \text{ m/s}^2$;
- s è il rapporto tra la densità del materiale movimentato (pari a $2'700 \text{ kg/m}^3$) e la densità dell'acqua (pari a $1'000 \text{ kg/m}^3$).

Il corazzamento di fondo è presente solo in corrispondenza della vasca sud, ove la posizione in curva esterna molto pronunciata e la concentrazione della corrente hanno determinato la formazione di una forte erosione al piede all'esterno curva. In tale tratto la pendenza risulta pari a 0.2 % e, in corrispondenza del passaggio della portata massima dello scenario attuale (117 mc/s), la velocità media della corrente risulta pari a circa 1.45 m/s.

Attraverso l'applicazione della relazione di Izbash si possono quindi individuare i diametri movimentati dalla corrente in corrispondenza di diversi livelli di turbolenza, i quali risultano pari a 0.04 m per bassa turbolenza, 0.06 m per media turbolenza e 0.09 m per alta turbolenza. Realizzare quindi, come previsto in progetto, un corazzamento di fondo attraverso massi dal diametro medio di 0.90 m permette di mantenere un ampio margine di sicurezza nei confronti delle azioni erosive al fondo.

Milano, Febbraio 2015

Per il RTP

Prof. Ing. Alessandro Paoletti



Parco
Regionale
Valle Lambro

*Interventi per il miglioramento delle acque e degli habitat nella Valle del Lambro (Lambro vivo) -
LIFE11 ENV/IT/004 – azione B2*

OPERE DI AFFINAMENTO DEPURATIVO A VALLE DEL DEPURATORE
IN COMUNE DI NIBIONNO – Progetto Esecutivo