INDICE

1. PREMESSA 2

2. VALUTAZIONE PORTATA DI PROGETTO 2

3. VERIFICHE IDRAULICHE 2

4 VALUTAZIONI SUI PROFILI 8

Allegati al testo

1. sezioni idrauliche schematiche di stato attuale;
2. profili idraulici schematici di stato attuale;
3. vista 3D relativa allo stato attuale;
4. sezioni idrauliche schematiche di progetto;
5. profili idraulici schematici di progetto;
6. vista 3D relativa allo stato di progetto;

1. PREMESSA

Nel presente elaborato vengono descritte le verifiche effettuate al fine di valutare i profili di rigurgito del Fiume Bormida di Spigno ed evidenziare eventuali interferenze delle opere in progetto con il regime idraulico del corso d'acqua.

2. VALUTAZIONE PORTATA DI PROGETTO

Le portate di progetto riportate nella tabella 1 sono state riprese dallo studio "Definizione delle fasce di pertinenza fluviale dei sottobacini del Fiume Bormida" redatto dall'ATI Hydrodata-SGA-ART per conto della Provincia di Savona.

Alla sezione di chiusura considerata (BS CONF_LO) dello studio citato, vedi allegati) si definiscono le seguenti portate:

T_R	Q
[anni]	[m^3/s]
50	634
200	864
500	1025

Tabella 1: portate di progetto

Poiché lo studio Hydrodata-SGA-ART rappresenta attualmente lo stato dell'arte per quanto riguarda le valutazioni idrologiche delle Bormide, le portate di cui sopra sono state assunte quali portate di progetto.

3. VERIFICHE IDRAULICHE

Nel seguito vengono descritti il metodo di calcolo utilizzato e le verifiche idrauliche effettuate sul tratto in oggetto del Fiume Bormida di Spigno, in un segmento rappresentativo della condizione di moto.

3.1 Metodo di calcolo

Il moto di una corrente a pelo libero è governato dalle equazioni fondamentali, ovvero l'equazione di continuità e l'equazione del moto che espresse in forma differenziale, per il caso generale di moto vario, si scrivono rispettivamente:

equazione di continuità:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

equazione del moto:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -j - \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q}{gA}\right)$$

dove:

Q = portata liquida	[m^3/s]
A = area della sezione liquida	[m^2]
H = carico totale della corrente	[m]
j = perdite distribuite	[m/m]
g = accelerazione di gravità	[m/s^2]
x = ascissa corrente	[m]
t = tempo	[s]

Il modello utilizzato per le verifiche idrauliche integra le equazioni fondamentali.

Nel caso in esame, compatibilmente con quanto indicato nelle raccomandazioni dell'Autorità di Bacino regionale, si è ritenuta significativa l'assunzione di moto permanente e si è ritenuta non necessaria la schematizzazione del fenomeno in moto vario.

Dalle considerazioni sopra esposte le equazioni di moto e di continuità risultano dipendenti dalla sola coordinata spaziale, essendo quella temporale trascurabile, quindi:

equazione di continuità:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

equazione del moto:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -j$$

La risoluzione delle equazioni è stata condotta attraverso una schematizzazione alle differenze finite e introducendo l'equazione di Manning per la stima delle resistenze distribuite:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} j^{1/2}$$

dove:

U = velocità media della corrente = Q/A [*m/s*]
R = raggio idraulico della corrente [*m*]
n = coefficiente di Manning [$m^{-1/3}s$]
j = cadente

Le perdite concentrate, nei tratti ove si verificano, sono state assunte proporzionali al carico cinetico, secondo l'espressione:

$$\Delta H = \xi \left(\frac{U^2}{2g} \right)$$

dove il coefficiente adimensionale ξ varia in dipendenza del tipo di perdita (restringimento, allargamento, cambio di direzione del flusso, ecc.).

Le verifiche sono state eseguite con l'impiego del programma *HEC-RAS* (*Hydrologic Engineering Center- River Analysis System*, dello *US Army Corps Engineers*), nel quale il modello determina il profilo di moto permanente per ogni tratto, scegliendo tra i possibili profili di corrente lenta e di corrente veloce quello a cui corrisponde la spinta totale maggiore.

La spinta è definita come:

$$S = \frac{1}{2} \gamma Y A + \gamma \frac{Q^2}{gA}$$

dove:

γ: peso specifico dell'acqua [N/m^3]
Y: profondità [*m*]

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, risulta necessario imporre, oltre al valore di portata in ingresso nella sezione di monte, una condizione di livello a valle in caso di corrente lenta ed una condizione di livello a monte in caso di corrente veloce.

Per cui la verifica è stata condotta assumendo quali condizioni al contorno, in termini di

quota di pelo libero, le seguenti condizioni:

- *Condizione di valle:* la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari alla profondità di moto uniforme, che rappresenta la profondità a cui tende la corrente in condizioni indisturbate, ossia in assenza di particolari singolarità dell'alveo. Si specifica che la pendenza dell'alveo è stata posta pari alla pendenza media del tratto interessato.

- *Condizione di monte:* la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari alla profondità di moto uniforme, che rappresenta la profondità a cui tende la corrente in condizioni indisturbate, ossia in assenza di particolari singolarità dell'alveo. Si specifica che, anche in questo caso, la pendenza dell'alveo è stata posta pari alla pendenza media del tratto interessato.

La verifica idraulica del corso d'acqua è stata condotta per portate con tempo di ritorno di 200 anni, come da prescrizioni di Piano di Bacino, con ipotesi di moto permanente.

La modellazione di calcolo adottata si basa sull'assunzione che la portata sia costante nel tratto analizzato.

Sulla base delle condizioni di fondo dell'alveo nel tratto indagato, in ottemperanza al quanto stabilito dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011 n° 3 nell'Allegato 3 "Indirizzi Tecnici per la redazione di studi idraulici " al punto 3" Parametri di scabrezza", sono stati adottati diversi coefficienti di Manning in funzione della morfologia e composizione granulometrica prevalente nell'alveo, delle condizioni di deflusso e della presenza in alveo della traversa in pietrame, in cattive condizioni di manutenzione.

In particolare, per la traversa allo stato attuale è stato adottato un coefficiente di Manning n = 0,028 $m^{-1/3}s$, mentre i coefficienti relativi alle zone non interessate dalla presenza dell'opera variano e sono riportati negli allegati al testo, per ogni sezione idraulica analizzata.

3.2 Analisi dei risultati

In riferimento al caso in esame, sono state condotte due verifiche, una relativa allo stato attuale ed una riferita alla configurazione di progetto. Le due configurazioni differiscono tra loro esclusivamente per il fatto che, nelle sezioni di progetto, in corrispondenza della traversa è stato considerato un diverso coefficiente di scabrezza in quanto ristrutturata e con impianto non funzionante a paratoie chiuse. Si è inoltre considerato il possibile effetto localizzato di ostruzione esercitato dalla briglia paratronchi. Nella verifica idraulica di fase progettuale si è quindi considerata una geometria dell'alveo più penalizzante rispetto alla situazione geometrica reale dello stesso in configurazione di progetto.

Nelle tabelle seguenti sono riportati, per ogni sezione considerata:

- la portata di calcolo Q (m^3/s),
- la quota del fondo canale (m s.l.m.),
- la quota del pelo libero (*m* s.l.m.),
- la profondità critica (*m* s.l.m.),
- il carico totale H (*m* s.l.m.),
- la velocità media sulla sezione U (*m/s*),
- la sezione idraulica (m^2),
- la larghezza della sezione liquida B (*m*),
- numero di Froude della corrente.

<u>Configurazione di stato attuale</u>

Dai risultati delle analisi, di cui si riportano i dati principali nella tabella sottostante e dalla visualizzazione degli stessi nelle sezioni idrauliche e nel profilo idraulico schematizzato in allegato, si rileva che in tutti i casi analizzati, il profilo presenta il medesimo comportamento: la corrente si mantiene in generale lenta ad eccezione di alcuni tratti localizzati dove comunque i numeri di Froude sono sempre prossimi all'unità.

Tabella riassuntiva della verifica idraulica condotta in situazione di stato attuale con evidenziati i valori relativi a T=200:

Sezione	Profilo	Q	Quota di fondo	Quota di pelo libero	Profondità critica	H	U	Sezione idraulica	B	Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
6	T50	634.00	324.90	329.03	327.89	329.68	3.55	178.38	52.76	0.62
6	T200	864.00	324.90	329.58	328.58	330.45	4.15	210.39	65.14	0.67
6	T500	1025.00	324.90	330.04	329.02	330.99	4.33	243.84	76.60	0.67
5	T50	634.00	324.90	328.96		329.59	3.54	182.90	57.37	0.60
5	T200	864.00	324.90	329.51		330.35	4.11	215.43	61.14	0.67
5	T500	1025.00	324.90	329.97		330.89	4.30	243.87	61.87	0.66
4.1	T50	634.00	324.90	328.66		329.43	3.90	165.93	56.08	0.68
4.1	T200	864.00	324.90	328.84	328.61	330.10	5.01	175.97	56.87	0.86
4.1	T500	1025.00	324.90	329.00	329.00	330.60	5.66	185.24	57.60	0.95
4	T50	634.00	326.60	328.44	328.44	329.20	3.89	166.90	110.19	0.97
4	T200	864.00	326.60	328.79	328.79	329.71	4.31	205.52	112.06	0.99
4	T500	1025.00	326.60	328.67	329.03	330.15	5.46	192.61	111.44	1.28
3	T50	634.00	325.10	328.18	327.23	328.53	2.60	249.38	119.52	0.52
3	T200	864.00	325.10	328.96	327.65	329.30	2.61	345.46	126.61	0.47
3	T500	1025.00	325.10	329.45	327.96	329.79	2.63	407.55	127.76	0.44
2	T50	634.00	323.70	327.44		328.35	4.22	150.20	60.56	0.86
2	T200	864.00	323.70	328.15	327.71	329.14	4.42	198.66	77.94	0.80
2	T500	1025.00	323.70	328.72	328.18	329.65	4.34	243.37	81.07	0.73
1	T50	634.00	323.30	326.94	326.94	328.12	4.82	131.66	56.43	1.00
1	T200	864.00	323.30	327.49	327.49	328.93	5.31	163.25	58.14	0.99
1	T500	1025.00	323.30	327.85	327.85	329.44	5.60	184.39	59.27	0.99

Tabella 2: stato attuale – in rosso Tr = 200 anni

Configurazione di progetto

Anche in questo caso, dalla analisi dei risultati ottenuti dalle verifiche eseguite, riportati nella tabella della pagina seguente, si nota che il profilo presenta comportamento simile anche in stato di progetto.

Tabella riassuntiva della verifica idraulica condotta in situazione di progetto con evidenziati i valori relativi a T=200:

Sez.	Profilo	Q	Quota di fondo	Quota di pelo libero	Profondità critica	H	U	Sezione idraulica	B	Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
6	T50	634.00	324.90	329.33	327.88	329.88	3.26	195.18	59.06	0.55
6	T200	864.00	324.90	330.04	328.58	330.71	3.66	243.50	76.54	0.56
6	T500	1025.00	324.90	330.51	329.02	331.23	3.82	281.01	82.82	0.56
5	T50	634.00	324.90	329.29		329.81	3.21	202.17	59.89	0.53
5	T200	864.00	324.90	329.99		330.64	3.61	245.27	61.91	0.56
5	T500	1025.00	324.90	330.44		331.17	3.84	272.88	62.61	0.57
4.1	T50	634.00	324.90	328.33	328.33	329.57	4.95	130.32	54.61	0.96
4.1	T200	864.00	324.90	328.95	328.95	330.39	5.38	164.64	57.35	0.96
4.1	T500	1025.00	324.90	329.28	329.28	330.91	5.72	184.28	59.86	0.98
4	T50	634.00	326.60	328.07	328.44	329.38	5.11	126.36	108.20	1.45
4	T200	864.00	326.60	328.21	328.79	330.15	6.22	141.83	108.96	1.67
4	T500	1025.00	326.60	328.32	329.03	330.65	6.81	153.88	109.55	1.77
3	T50	634.00	325.10	326.46	327.23	329.04	7.11	89.11	79.11	2.14
3	T200	864.00	325.10	328.96	327.65	329.30	2.61	345.46	126.61	0.47
3	T500	1025.00	325.10	329.45	327.96	329.79	2.64	407.33	127.76	0.44
2	T50	634.00	323.70	327.44	327.17	328.35	4.22	150.20	60.56	0.86
2	T200	864.00	323.70	328.15	327.71	329.14	4.42	198.69	77.94	0.80
2	T500	1025.00	323.70	328.71		329.65	4.34	242.97	81.00	0.73
1	T50	634.00	323.30	326.94	326.94	328.12	4.82	131.66	56.43	1.00
1	T200	864.00	323.30	327.49	327.49	328.93	5.31	163.29	58.14	0.99
1	T500	1025.00	323.30	327.85	327.85	329.44	5.60	184.39	59.27	0.99

Tabella 3: progetto – in rosso Tr = 200 anni

In conclusione, il comportamento dei profili idraulici rimane sostanzialmente inalterato tra le condizioni di stato attuale e di progetto.

4 VALUTAZIONI SUI PROFILI

Con riferimento alle tabelle, alle sezioni idrauliche ed ai profili, si può rilevare che:

- le situazioni di stato attuale e di progetto non differiscono significativamente fra di loro per cui la situazione di progetto può essere considerata ininfluente sul regime idraulico del Fiume Bormida nel tratto considerato.