



sediplan



Linee guida
per la gestione sostenibile dei sedimenti
nei bacini idrici di accumulo.

efre · fesr
Südtirol · Alto Adige
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
Fondo europeo di sviluppo regionale



AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE



patscheiderpartner
ENGINEERS



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO





CISMA srl

Mountain-eering srl

Ingegneri Patscheider & Partner srl

Università di Bolzano

LINEE GUIDA PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI NEI BACINI IDRICI DI ACCUMULO

Data:	Autori:
settembre 2020	dott. ing. Gianluca Vignoli, dott. ing. Gianluca Antonacci, dott. ing. Andrea Cemin, dott. ing. Elena Tomasi dott. ing. Silvia Simoni, dott. ing. Fabrizio Zanotti, dott. for. Francesca Minute dott. ing. Corrado Lucarelli, dott. ing. Walter Gostner, dott. ing. Matteo Paternolli, dott. ing. Christian Gratl dott. Silvia Folegot, dott. ing. Giulia Stradiotti, dott. ing. Velio Coviello, prof. Francesco Comiti, prof. ing. Maurizio Righetti, dott. ing. Giuseppe Pisaturo, dott. ing. Maurizio Tavelli, dott. Kaffas Konstantinos, dott. ing. Sebastiano Piccolroaz

efre·fesr
Südtirol · Alto Adige
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
Fondo europeo di sviluppo regionale



EUROPEAN UNION



AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE

Il presente documento è stato redatto nell'ambito delle attività dei progetti SEDIPLAN-i e SEDIPLAN-r, finanziati dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale.

Indice

1	Introduzione	5
1.1	L'importanza dei sedimenti	6
1.2	I sedimenti e la capacità del serbatoio	7
1.3	Erosione della fascia costiera	8
2	Normativa vigente	9
2.1	Premessa	9
2.2	Le prescrizioni normative e procedurali vigenti	9
2.2.1	Normativa nazionale italiana	9
2.2.2	Le regolamentazioni regionali e provinciali	13
2.2.2.1	Provincia Autonoma di Bolzano	13
2.2.2.2	Provincia Autonoma di Trento	15
2.2.2.3	Regione Veneto	17
2.2.2.4	Regione Lombardia	19
2.2.2.5	Regione Piemonte	22
2.2.3	Esperienze internazionali	23
2.2.3.1	Linee guida generali	23
2.2.3.2	Svizzera	23
2.2.3.3	Austria	25
2.2.3.4	Germania	27
2.2.4	Conclusioni	28
3	Gestione sostenibile dei sedimenti	29
3.1	Minimizzazione dei depositi di sedimenti	30
3.1.1	Galleria di bypass dei sedimenti	30
3.1.2	Serbatoi fuori alveo (off-channel reservoir)	34
3.1.3	Trasporto ed evacuazione in corrente fluida (sluicing)	34
3.1.4	Scarico di correnti di densità (venting)	36
3.1.5	Intercettazione del sedimento in aree di laminazione	37
3.2	Aumento o recupero del volume	37
3.2.1	Fluitazione (Flushing)	37
3.2.2	Fluitazione in pressione	38
3.2.3	Scavo con mezzi meccanici	39
3.2.4	Dragaggio	39
3.2.5	Dragaggio con immissione in derivazione	39
3.3	Raccomandazioni	40
3.4	Evoluzione della normativa attuale	42

3.5	Interazione fra gli impianti e i sedimenti	43
3.5.1	Problemi di usura delle turbine	43
3.5.2	Interazione fra sedimenti, gallerie di derivazione e torrini piezometrici .	45
3.6	Costi per la gestione dei sedimenti	46
3.6.1	Costi diretti	46
3.6.2	Costi indiretti o esterni	47
3.6.3	Stima dei costi rimozione di sedimento	48
3.6.4	Stima dei costi galleria di by-pass	49
3.7	Ecologia	49
3.7.1	Gli aspetti ecologici legati alla gestione dei sedimenti	49
3.7.2	Gli effetti sulla comunità macrobentonica	50
3.7.3	Gli effetti sulla comunità ittica	51
3.7.4	Le buone pratiche di monitoraggio ecologico	52
3.7.5	La possibilità di usare un modello ecologico	53
4	Monitoraggio del trasporto solido	55
4.1	Cosa s'intende per monitoraggio e perché è importante	55
4.2	Metodi di monitoraggio	56
4.2.1	Monitoraggio del trasporto solido in sospensione	56
4.2.2	Monitoraggio del trasporto solido al fondo	58
4.3	Monitoraggi ad hoc	65
4.3.1	Cosa misurare?	65
4.3.2	Come misurare?	65
4.3.3	Dove misurare?	66
4.4	Costi del monitoraggio	67
5	Impianti idroelettrici esistenti	71
5.1	L'energia idroelettrica nelle Alpi	71
5.2	Impianti idroelettrici in Alto Adige	71
5.2.1	Impianti ad acqua fluente	78
5.2.1.1	Traversa fluviale di Lasa sull'Adige	78
5.2.1.2	Vasca di accumulo di Sluderno	81
5.2.1.3	Traversa fluviale sul Rio Vizze a Novale	84
5.2.1.4	Traversa fluviale sull'Isarco a Colma	86
5.3	Il sistema idroelettrico sul fiume Adda	88
6	Casi di studio	91
6.1	Il Fiume Rienza	91
6.1.1	Bacino idrografico, idrologia e produzione di sedimento	91
6.1.2	Impianti presenti sulla Rienza	91
6.1.3	Dati e stazioni di misura presenti	94
6.1.4	Gestione degli impianti negli ultimi decenni	94

6.2	Kniepass	95
6.2.1	Descrizione dell'impianto	95
6.2.1.1	Dati tecnici	95
6.2.1.2	Considerazioni sulla gestione del trasporto solido	99
6.2.2	Il bacino della Rienza chiuso all'impianto Kniepass	104
6.2.3	Rilievi batimetrici e topografici	106
6.2.4	Prelievo e analisi dei sedimenti	107
6.2.5	Caratterizzazione dei sedimenti in laboratorio	111
6.2.6	Concetto di indagine e scenari indagati	114
6.2.6.1	Generalità	114
6.2.6.2	Scelta degli scenari	116
6.2.6.3	Scenario VAIA	117
6.2.6.4	Scenari HQ1	117
6.2.6.5	Scenari HQ5	117
6.2.7	Setup modellistico	118
6.2.7.1	Quadro di insieme	118
6.2.7.2	Calibrazione e validazione	119
6.2.7.3	Forzanti di sistema	120
6.2.7.4	Il bacino di Kniepass	122
6.2.7.5	Tratto di trasporto verso l'allargamento	124
6.2.7.6	L'allargamento "Ilsterner Au"	127
6.2.7.7	Tratto di trasporto verso Rio Pusteria	128
6.2.8	Risultati	129
6.2.8.1	Processi deposizionali e svassi presso l'invaso di Kniepass	129
6.2.8.2	Scenario "VAIA"	130
6.2.9	Operazioni di ottimizzazione di gestione del materiale solido	135
6.2.9.1	Premessa	135
6.2.9.2	Scenario HQ1	135
6.2.9.3	Scenario HQ5	140
6.2.9.4	Effetti sui bacini in cascata	145
6.2.10	Considerazioni finali	145
6.2.10.1	Gestione ottimale del materiale solido	145
6.2.10.2	Implicazioni ambientali, ittiche ed eco-morfologiche	146
6.3	Rio Pusteria	149
6.3.1	Premessa	149
6.3.2	Schema impianto del sistema idroelettrico della centrale di Bressanone: i bacini di Fortezza e Rio di Pusteria	149
6.3.3	Il bacino di Rio di Pusteria: aspetti generali	149
6.3.4	Dati tecnici del bacino di Rio di Pusteria	151
6.3.5	Considerazioni sulla gestione dei sedimenti	154
6.3.5.1	Apporto di sedimenti all'invaso di Rio di Pusteria	154
6.3.5.2	Gestione del sedimento depositato nell'invaso di Rio di Pusteria	156
6.3.6	Rilievi batimetrici	157

6.3.7	Presentazione del modello numerico e degli scenari	157
6.3.7.1	Modello Numerico	157
6.3.7.2	Scenari	159
6.3.7.3	Mesh	160
6.3.7.4	Calibrazione del modello	160
6.3.7.5	Incertezze nella procedura di calibrazione	162
6.3.7.6	Risultato della calibrazione	162
6.3.7.7	Flushing a grado di interrimento iniziale variabile: Risultati delle simulazioni	163
6.3.7.8	Considerazioni finali per le manovre di flushing	169
6.3.7.9	Venting	170
6.3.7.10	Risultati per lo scenario S2	170
6.3.7.11	Risultati per lo scenario S4	175
6.3.7.12	Considerazioni finali per le manovre di venting	176
6.3.8	Effetti ecologici delle operazioni di flushing a valle del bacino di Rio di Pusteria (gola del Rienza)	178
6.3.9	Considerazioni finali	182
7	Gestione sostenibile dei sedimenti	183
7.1	Approfondimento della conoscenza	185
7.1.1	Impianto	185
7.1.2	Piani di gestione dei sedimenti	185
7.1.3	Ricostruzione storica	185
7.2	Confronto con altre esperienze e dati noti	185
7.3	Sistema delle forzanti	186
7.4	Approfondimento modellistico	187
7.4.1	La numerica come strumento diagnostico e previsionale	187
7.4.2	Scelta del modello	189
7.4.3	Implementazione del dataset	191
7.4.4	Calibrazione e validazione	193
7.4.5	Individuazione degli scenari e delle manovre da simulare	194
7.4.6	Analisi critica dei risultati	197
7.5	Applicazione	197
7.5.1	Step 1: le tecnologie applicabili	198
7.5.2	Step 2: le tecnologie più adatta al contesto specifico	198
7.5.3	Step 3: scelta della/e tecnologia/e più adatta/e al contesto specifico	200
7.6	Comunicazione	203
	Bibliografia	207

Elenco delle figure

0.1	<i>Vista aerea della traversa fluviale sull'Isarco a Colma</i>	2
0.2	<i>Team del progetto Sediplan.</i>	3
1.1	<i>Cronologia storica della costruzione delle grandi dighe in Italia, tratto da Bizzini e altri (2010)</i>	5
1.2	<i>Serbatoi con interrimento > 5% in funzione della quota suddivisi per macroaree omogenee, tratto da Bizzini e altri (2010)</i>	7
1.3	<i>Esempio di arretramento della zona costiera</i>	8
2.1	<i>Il torrente Avisio a Predazzo durante le operazioni di fluitazione (Negri e altri, 2012)</i>	16
2.2	<i>Competenze in materia di sicurezza e vigilanza degli sbarramenti e progetti di gestione degli invasi, a seconda delle caratteristiche dimensionali delle opere</i>	20
2.3	<i>Schema riassuntivo dei contenuti del progetto di gestione</i>	21
3.1	<i>Classificazione delle strategie di gestione sostenibile del sedimento (adattato da Kondolf e altri, 2014)</i>	30
3.2	<i>Schematizzazione della galleria di bypass del sedimento - Tipo A (adattato da Auel, 2018)</i>	31
3.3	<i>Esempio di effetto di abrasione (tratto da Auel, 2014)</i>	32
3.4	<i>Schematizzazione della galleria di bypass del sedimento - Tipo B (adattato da Auel, 2018)</i>	33
3.5	<i>La rappresentazione a sinistra schematizza il funzionamento dei serbatoi fuori alveo dove l'acqua viene prelevata dal fiume e derivata verso un bacino di carico. L'immagine a destra mostra il bacino di carico di Valdurna (Sarentino, Alto Adige)</i>	34
3.6	<i>Rappresentazione schematica dell'operazione di sluicing (adattato da Kondolf e altri, 2014)</i>	35
3.7	<i>Rappresentazione schematica dell'operazione di venting</i>	36
3.8	<i>Rappresentazione schematica dell'operazione di fluitazione (adattato da Kondolf e altri, 2014)</i>	38
3.9	<i>Indicatori proposti per valutare la concentrazione di solidi sospesi (ARPA Lombardia 2019)</i>	43
3.10	<i>La presa dell'impianto Saldur (Val di Mazia) ed immagine del materiale solido tipico del Rio Saldura</i>	45
4.1	<i>Monitoraggio puntuale del trasporto solido in sospensione</i>	57

4.2	<i>Monitoraggio continuo del trasporto solido in sospensione con l'utilizzo di un torbidimetro. Questo viene installato da un operatore e richiede una manutenzione più o meno frequente a seconda dell'intensità degli eventi di piena. Il torbidimetro può essere installato su un carrellino mobile lungo una rotaia per facilitare le operazioni di manutenzione (sotto)</i>	58
4.3	<i>Relazioni mensile tra torbidità (in ascissa) e concentrazione solida in sospensione (in ordinata) nel fiume Lüttschine a Gsteig (Svizzera), da Spreafico e altri (2005)</i>	59
4.4	<i>Monitoraggio diretto del trasporto solido al fondo</i>	61
4.5	<i>Monitoraggio indiretto del trasporto solido al fondo</i>	63
5.1	<i>Grandi centrali presenti in Alto Adige</i>	74
5.2	<i>Grandi centrali, principali condotte e punti di restituzione presenti nella zona ovest della PAB</i>	75
5.3	<i>Grandi centrali, principali condotte e punti di restituzione presenti nella zona est della PAB</i>	76
5.4	<i>La classificazione dei principali grandi impianti idroelettrici della Provincia Autonoma di Bolzano, secondo l'approccio proposto da Kondolf e altri (2014)</i>	77
5.5	<i>La traversa fluviale sull'Adige a Lasa</i>	78
5.6	<i>Fluttuazioni del fondo alveo lungo il Fiume Adige a monte della traversa di Lasa</i>	79
5.7	<i>I banchi di ghiaia depositati a monte della traversa di Lasa</i>	80
5.8	<i>Materiale solido sedimentato lungo l'Adige a valle della traversa di Lasa</i>	80
5.9	<i>Distribuzioni granulometriche del materiale costituente i depositi in Adige a monte della traversa di Lasa</i>	81
5.10	<i>Le operazioni di rimozione meccanica del 2010 presso la traversa di Lasa</i>	81
5.11	<i>A sinistra un esempio di cono Imhoff utilizzato per i monitoraggi; a destra il torbidimetro installato dal Gestore a valle dello sbarramento di Lasa</i>	82
5.12	<i>Il canale di scarico della centrale di Glorenza e la vasca di Sluderno in esercizio</i>	82
5.13	<i>La vasca di Sluderno nel 2010</i>	83
5.14	<i>La canaletta centrale formata in seguito alla svaso ed immagine dello scarico nel Fiume Adige</i>	83
5.15	<i>Paratoie a settore e bocche di presa di Novale</i>	84
5.16	<i>Due immagini che testimoniano l'avanzato stato di interrimento del bacino</i>	85
5.17	<i>Diminuzione della capacità di invaso del bacino a causa del forte interrimento</i>	85
5.18	<i>Sedimenti depositati a centro lago</i>	85
5.19	<i>L'interdiga ed il serbatoio sul Rio Vizze a Novale</i>	86
5.20	<i>Evoluzione della morfologia lacustre presso il bacino di Novale in Val di Vizze, anni 1989, 2000 e 2006 (Rip. Urbanistica)</i>	87
5.21	<i>Schema idroelettrico delle acque del sistema a2a S.p.a.</i>	90
6.1	<i>Cumulata media delle precipitazioni annue, tratto da ZAMG e altri (2015)</i>	92

6.2	<i>Fiume Rienza con dettaglio delle condotte forzate in fucsia</i>	93
6.3	<i>Stazioni idrometriche presenti nel bacino del Fiume Rienza</i>	94
6.4	<i>Il Fiume Rienza presso Kniepass prima della realizzazione della centrale (fonte: ASM Brunico)</i>	95
6.5	<i>I lavori di stabilizzazione delle sponde del bacino di rigurgito nel 1991 (fonte: Azienda Servizi Municipalizzati di Brunico)</i>	96
6.6	<i>Le turbine Kaplan installate ed un'immagine del sistema di controllo</i>	97
6.7	<i>Il tratto terminale del bacino di rigurgito e l'area della presa laterale</i>	97
6.8	<i>Lo sbarramento è dotato di due paratoie di settore</i>	98
6.9	<i>Lo sbarramento visto da valle, in condizioni di derivazione (sx) ed in sfioro (dx)</i>	98
6.10	<i>Vista frontale dello sbarramento con le due paratoie (fonte: AMS Brunico)</i>	99
6.11	<i>Sezione degli organi di scarico (fonte: AMS Brunico)</i>	100
6.12	<i>Evoluzione del fondo alveo nel serbatoio a servizio dell'impianto di Kniepass</i>	101
6.13	<i>Interrimento in uno dei transetti monitorati nel serbatoio di Kniepass (1990-2018)</i>	102
6.14	<i>Lo stato di interrimento del serbatoio di Kniepass nel maggio 2018</i>	103
6.15	<i>Il transito della piena "VAIA" a Kniepass e paratoie di settore completamente aperte (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)</i>	103
6.16	<i>L'ingente deposito di materiale flottante presso lo sbarramento di Rio Pusteria (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)</i>	104
6.17	<i>Banchi di ghiaia depositati in prossimità della confluenza tra Rienza e Gadera</i>	104
6.18	<i>La confluenza tra Rienza e Gadera</i>	105
6.19	<i>I banchi di ghiaia allo sbocco della Gadera nella Rienza ed una significativa immagine degli apporti solidi della Gadera rispetto a quelli del Fiume Rienza</i>	105
6.20	<i>I terrazzamenti prativi in sponda orografica destra lungo il serbatoio di rigurgito</i>	106
6.21	<i>A valle di Kniepass il Fiume Rienza è regimato e canalizzato</i>	107
6.22	<i>L'allargamento in zona "Ilstener Au" lungo la Rienza nella Bassa Pusteria (referenza 1858, prima dei lavori, al termine dei lavori eseguiti durante la stagione invernale 2019/2020) (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)</i>	108
6.23	<i>Lo sbocco del Fiume Rienza nel serbatoio di Rio Pusteria</i>	108
6.24	<i>Immagine del volo fotogrammetrico e dei rilievi con ecoscandaglio</i>	109
6.25	<i>Estratti del rilievo batimetrico effettuato nel 2018</i>	109
6.26	<i>Vista 3D dello sbarramento di Kniepass risultante dal rilievo 2018</i>	109
6.27	<i>Planimetria dei siti di campionamento presso Kniepass (aprile 2018)</i>	110
6.28	<i>Alcune immagini delle operazioni di analisi e prelievo dei sedimenti effettuate</i>	110
6.29	<i>Curve granulometriche nei siti di prelievo 1(verde), 2 (azzurro), 3(arancione) e 4(viola). In figura 6.27 è possibile vedere la dislocazione dei punti di misura, mentre la Tabella 6.1 riassume la tipologia di materiale rilevata e l'analisi eseguita</i>	111
6.30	<i>Planimetria dei siti di campionamento tra Kniepass e Rio Pusteria (marzo 2019)</i>	112
6.31	<i>Operazioni di sezionamento delle carote di sedimento presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Trento</i>	112
6.32	<i>Canaletta per le prove di erosione</i>	113

6.33	<i>Andamento dello sforzo tangenziale critico con la profondità e correlazione tra lo sforzo tangenziale critico e la velocità di erosione</i>	114
6.34	<i>Schematizzazione del concetto di indagine implementato</i>	115
6.35	<i>Immagine aerea dell'allargamento "Ilstener Au" al termine dei lavori (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)</i>	116
6.36	<i>Schematizzazione del processo analitico seguito (Rousselot e altri, 2012)</i>	119
6.37	<i>Depositi di materiale solido fine censiti lungo il corso della Rienza ca. 3 km a valle dello sbarramento di Kniepass nel marzo 2019</i>	120
6.38	<i>Indagini di campo effettuare al fine di definire il grado di colmatazione e di corazzamento del fondo (marzo 2019)</i>	120
6.39	<i>Rappresentazione schematica del bacino imbrifero sotteso dall'impianto di Kniepass</i>	121
6.40	<i>Idrogrammi di piena registrati presso le stazioni idrometriche di Mantana e Stegona durante l'evento "VAIA"</i>	122
6.41	<i>Mesh di calcolo per il serbatoio di Kniepass e dettaglio della traversa</i>	122
6.42	<i>Schematizzazione della strutturazione granulometrica in classi omogenee di materiale</i>	123
6.43	<i>Confronto tra il campo di velocità determinato con un modello 2D e con un modello 3D a parità di condizioni al contorno e di topografia</i>	125
6.44	<i>Schematizzazione delle tipologie di fondo alveo adottabili per l'analisi in HEC RAS (fonte: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras)</i>	126
6.45	<i>Evoluzione del profilo dell'asta della Rienza nello scenario "VAIA"</i>	126
6.46	<i>La mesh di calcolo implementata per l'allargamento in località "Ilstener Au"</i>	127
6.47	<i>La mesh di calcolo implementata per il tratto tra l'allargamento in località "Ilstener Au" e lo sbocco nel serbatoio di Rio Pusteria</i>	128
6.48	<i>Processi erosivi imputabili all'estensione verso monte degli effetti di una fluitazione (plot della situazione riscontrata con una HQ10 influente) (Thanei, 2019)</i>	131
6.49	<i>Depositi massimi all'interno del bacino di Kniepass in occasione dell'evento "VAIA"</i>	132
6.50	<i>Scavi massimi all'interno del bacino di Kniepass in occasione dell'evento "VAIA"</i>	132
6.51	<i>Sedimentogrammi in uscita da Kniepass per ciascuna macrofrazione granulometrica considerata nell'analisi</i>	133
6.52	<i>Confronto tra i solidogrammi in uscita da Kniepass ed all'ingresso nel tratto oggetto di allargamento, simulati con approccio 1D in ambiente HEC-RAS 5.2</i>	134
6.53	<i>Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi determinati nel tratto dell'allargamento "Ilstener Au" per lo scenario "VAIA". Si nota chiaramente la tendenza all'incisione del fiume</i>	134
6.54	<i>Depositi massimi registrati nel tratto tra Vandoies e Rio Pusteria per lo scenario "VAIA"</i>	135

6.55 Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ1 con svaso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	137
6.56 Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ1 con svaso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	137
6.57 Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ1 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	138
6.58 Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ1 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	138
6.59 Attraverso una semplice misura gestionale, quale lo svaso parziale in occasione di un HQ1, potrebbe essere risolto il problema del deposito di ghiaia presso la confluenza con la Gadera, a fronte degli onerosi interventi di rimozione meccanica e re-immissione in alveo sino ad oggi effettuati	139
6.60 Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ5 con svaso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	141
6.61 Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ5 con svaso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	142
6.62 Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ5 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	142
6.63 Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ5 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra	143
6.64 Depositi massimi in funzione dell'abbassamento di livello a Kniepass nell'allargamento "Ilstener Au" (sinistra) e nel tratto di valle sino a Rio Pusteria (destra) per una HQ5	144
6.65 Schema idraulico della centrale di Bressanone con indicazione delle prese, dei bacini di Fortezza e Rio di Pusteria, delle condotte di adduzione e della condotta forzata (fonte: Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL)	150
6.66 Vista aerea del bacino di Rio di Pusteria (sinistra) e ingrandimento con vista aerea della zona della diga (destra) (fonte: Google Earth)	150
6.67 Vista planimetrica del corpo diga con indicazione dei vari organi (fonte: Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL)	152
6.68 Vista frontale da monte della diga (fonte: Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL)	153
6.69 Sezione laterale degli organi di scarico di superficie e di fondo principali (fonte: Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL)	153

6.70	<i>Mappa dell'erosione media annuale nel bacino idrografico di Rio di Pusteria</i>	155
6.71	<i>Differenza di quota post- e pre- fluitazione. Valori negativi indicano l'erosione del deposito. In alcune piccole aree si notano dei fenomeni di deposito dovuti alla movimentazione del sedimento da monte verso valle</i>	158
6.72	<i>Vista verso valle (verso la diga) del bacino di Rio di Pusteria durante la fase finale delle operazioni di flushing. Si nota il notevole asporto del materiale fine</i>	159
6.73	<i>Vista dell'area di studio e DTM del bacino di Rio di Pusteria a Maggio 2019, pre-svaso</i>	160
6.74	<i>Vista della discretizzazione del bacino di Rio di Pusteria</i>	161
6.75	<i>Portata in ingresso e in uscita dal bacino durante lo svaso</i>	161
6.76	<i>Evoluzione del fondo del bacino nel tempo, a 0s, 400000s (4.6 giorni) e 800000s (9.3 giorni) per la simulazione dello svaso avvenuto a Maggio 2019</i>	162
6.77	<i>Volume d'acqua nel bacino nel corso dell'evento (sinistra) e progressiva massa di sedimenti rilasciati (destra)</i>	163
6.78	<i>Evoluzione della concentrazione volumetrica agli scarichi come misurata da Alperia (nero) e come simulata (blu)</i>	164
6.79	<i>Strato di sedimento presente nel bacino prima dello svaso (d'ora in poi strato di riferimento), b) strato di sedimento calcolato come 25% dello strato di riferimento, c) strato di sedimento calcolato come 50% dello strato di riferimento, d) strato di sedimento calcolato come 75% dello strato di riferimento</i>	165
6.80	<i>Evoluzione delle portate in uscita sottoposte a controllo per limitare la C% in uscita, confrontate con la portata in uscita nello scenario di riferimento (linea tratteggiata)</i>	166
6.81	<i>Evoluzione della concentrazione nel tempo per i 4 casi in uscita dagli scarichi di fondo</i>	166
6.82	<i>Evoluzione del contenuto d'acqua nel bacino nei diversi scenari</i>	167
6.83	<i>Vista delle sezioni trasversali del bacino scelte per l'analisi</i>	167
6.84	<i>Evoluzione del fondo nelle tre sezioni riportate in Figura 6.83, per lo scenario di riferimento e i 3 scenari alternativi, 75%, 50%, 25%, dall'alto verso il basso. In tutte le figure, in nero si ha il livello del fondo inerodibile, in rosso il livello del fondo al tempo $t=0$ s, in blu a $t=400'000$ s, in verde a $t=800'000$ s</i>	168
6.85	<i>Progressivo volume di sedimenti rilasciata per i diversi scenari. Gli indicatori viola segnano il punto di fine svaso</i>	169
6.86	<i>Portata (Q) e concentrazione (c%) in ingresso per lo scenario S2</i>	171
6.87	<i>Portata (Q) e concentrazione (c%) in ingresso per lo scenario S4</i>	171
6.88	<i>Distribuzione del deposito di materiale solido (S) nel bacino dopo 10 ore e 32 ore nei due casi per lo scenario S2: invaso iniziale 100% (sopra) e invaso iniziale 20% (sotto)</i>	172
6.89	<i>Bilancio netto di concentrazione di solidi sospesi e massa in uscita dal bacino per lo scenario S2</i>	173
6.90	<i>Massa cumulata netta di sedimenti transitati nel bacino per lo scenario S2. La quantità residua identifica la quantità entrata e non uscita</i>	173

6.91	<i>Confronto tra massa depositata e sospesa per le due configurazioni per lo scenario S2</i>	174
6.92	<i>Distribuzione del deposito di materiale solido (S) nel bacino dopo 10 ore e 32 ore nei due casi per lo scenario S4: invaso iniziale 100% (sopra) e invaso iniziale 20% (sotto)</i>	175
6.93	<i>Bilancio netto di concentrazione di solidi sospesi e massa in uscita dal bacino per lo scenario S4</i>	176
6.94	<i>Massa cumulata netta di sedimenti transitati nel bacino per lo scenario S4. La quantità residua identifica la quantità entrata e non uscita</i>	176
6.95	<i>Confronto tra massa depositata e sospesa per le due configurazioni per lo scenario S4</i>	177
6.96	<i>Vista dell'accumulo di materiale agli scarichi dopo 10 ore (sinistra) e 32 ore (destra), per lo scenario S4. Nella riga sopra l'invaso iniziale è al 100%, nella riga sotto al 20%</i>	177
6.97	<i>Indicazione dei punti di campionamento del macrobenthos a valle della diga di Rio di Pusteria (1,2 e 3) e della confluenza del Rienza con il Fiume Isarco (4). T1 e T2 indicano la posizione dei torbidimetri installati. Immagine tratta dall'articolo presentato a rivista ed in fase di revisione di Folegot et al. 2020. "The effects of a sediment flushing on Alpine macroinvertebrate communities", Hydrobiologia</i>	178
6.98	<i>Densità relativa per ogni taxon e per ogni fase del campionamento ('pre', 'post1' e 'post2') (Folegot e altri, 2020)</i>	179
6.99	<i>Variazione delle metriche di comunità nei vari siti prima e dopo il flushing (Folegot e altri, 2020)</i>	180
6.100	<i>Indicazione della composizione tassonomica (a) e delle variazioni nella composizione funzionale delle comunità (b) (Folegot e altri, 2020)</i>	181
7.1	<i>Il concetto di gestione sostenibile del sedimento secondo Kantoush e Sumi (2010)</i>	183
7.2	<i>Schema della metodologia per l'individuazione della migliore strategia di gestione del sedimento</i>	184
7.3	<i>Esempi di simulazioni 2D e 3D relativi all'idraulica fluviale ed al dimensionamento delle opere trasversali</i>	188
7.4	<i>Possibili processi da inserire nelle modellazioni (fonte: www.flow3d.com)</i>	196

Premessa

La gestione dei sedimenti negli impianti idroelettrici è una materia complessa e ricca di moltissime sfumature, che rendono unico ogni singolo impianto. Alcuni degli aspetti che contribuiscono a descrivere l'interazione dei sedimenti con gli impianti sono: le caratteristiche morfologiche e fisiche del corso d'acqua (pendenza, granulometria del materiale presente, presenza di sponde erodibili, presenza di vegetazione, ecc), il regime idrologico (stagionalità e durata degli eventi di piena e di morbida, presenza di contributi glaciali e/o nivali), la geologia del bacino idrografico (rocce diverse hanno diversa propensione ad essere erose e trasportate), la copertura del suolo, la presenza a monte di altri serbatoi che intercettano i sedimenti e che possono venire rilasciati a valle secondo un regime diverso da quello naturale.

Il gestore ed il progettista di questi impianti si trovano di fronte a grandezze fisiche che possono essere stimate solamente con un grado di accuratezza molto grossolano; si pensi ad esempio alla difficoltà della stima della granulometria dei sedimenti in un corso d'acqua. Essa infatti varia notevolmente lungo il corso d'acqua stesso e potenzialmente può variare nel tempo a causa, ad esempio, di eventi di piena o di manovre di fluitazione.

Ogni opera di derivazione o di trattenuta nelle Alpi, sia essa una diga o una traversa fluviale, è stata progettata e realizzata in un contesto storico durante il quale il livello di conoscenza dei fenomeni che influenzano l'interazione fra gli impianti e i sedimenti era molto più basso rispetto a quello odierno. Ad esempio il progetto originale della traversa fluviale di Colma (Figura 0.1) (Società-Idroelettrica-dell'Isarco, 1931) non prevedeva alcun dissabbiatore: le acque del fiume Isarco sarebbero dovute essere deviate dall'alveo direttamente nella vasca di accumulo. Durante la costruzione, un evento di piena del fiume riempì la vasca con un deposito di limo di 10 cm di spessore e, di conseguenza, il progetto venne aggiornato in corso d'opera con l'inserimento di cinque dissabbiatori lunghi 25 m. Immaginando di fare un esercizio concettuale e cimentarsi nel 2020 nuovamente con la progettazione di questa opera di presa, nessun progettista prenderebbe in considerazione una soluzione senza dispositivi per la gestione del sedimento. Infatti, quando fu costruita la traversa di Funes, qualche decennio dopo rispetto a quella di Colma, sullo stesso corso d'acqua 9,5 km a monte, furono progettati e costruiti dissabbiatori lunghi circa 200 m.

Fin dai primi anni di esercizio ogni gestore si è trovato a doversi cimentare con operazioni di gestione dei sedimenti, sia per ottemperare alla normativa (ad esempio mantenere efficienti gli scarichi di fondo), sia per garantirsi il volume utile degli invasi, necessario per massimizzare la produzione e la redditività degli impianti.

L'esercizio degli impianti ha permesso di ridurre l'incertezza sulla stima di alcuni parametri, come ad esempio l'apporto medio annuo di sedimenti; esso è una delle grandezze più difficilmente stimabili in fase di progettazione, diversamente, dopo decenni di esercizio del-



Figura 0.1: *Vista aerea della traversa fluviale sull'Isarco a Colma*

l'impianto, può essere misurato con un margine di errore molto basso. Nella pratica, ogni gestore si trova oggi ad operare con impianti progettati e costruiti sulla base di un basso livello di conoscenza (relativamente alle tematiche della gestione dei sedimenti) e ad avere una disponibilità di dati dettagliati e precisi, che derivano da decenni di esperienza di esercizio. Questo cocktail di circostanze, unitamente al fatto che ogni impianto presenta peculiarità uniche, ha visto la realizzazione di moltissime strategie di gestione differenti, a volte anche molto fantasiose, che vanno ad esempio dalla rimozione meccanica e vendita del materiale oppure conferimento in discarica, alla fluitazione, al dragaggio con immissione nella deriva-

zione, all'utilizzo del sedimento per la riprofilatura dei versanti.

L'adeguamento normativo, che si è concluso con quanto riportato nel DM 30 giugno 2004 e nell'Art. 114 del D. Lgs. 152/2006, ha portato alla definizione del **progetto di gestione**, lo strumento con il quale il gestore comunica le modalità di gestione degli impianti relativamente alla tematica dei sedimenti, dettagliando tutti i particolari relativi al flusso di materiale solido e alla sua interazione con gli impianti stessi.

Durante lo svolgimento del progetto Sediplan si è visto che i gestori generalmente custodiscono gelosamente il bagaglio di conoscenza relativo al tema dei sedimenti e alla loro gestione; questo ha reso ancora più difficile la redazione di queste linee guida.

Hanno partecipato allo svolgimento del progetto Sediplan-i le società di ingegneria CISMA srl, Ingegneri Patscheider & Partner srl e Mountain-eering srl; il personale dell'Università di Bolzano è stato impiegato nel progetto Sediplan-r (Figura 0.2). Queste linee guida riassumono in un'unica sede i risultati ottenuti, l'esperienza maturata e i suggerimenti frutto degli approfondimenti teorico-pratici e di tutto il lavoro svolto fra il 2016 e il 2020. Durante l'arco temporale di svolgimento del progetto è stata effettuata una manovra di fluitazione sul serbatoio di Rio Pusteria, gestito da Alperia e una manovra di fluitazione in coda di piena sul serbatoio di Kniepass gestito dall'Azienda Pubbliciservizi di Brunico. Entrambi gli impianti si trovano sul fiume Rienza, a una distanza relativa di circa 15 km e sono stati quindi un laboratorio in scala reale per mettere a punto e testare modalità di gestione sostenibili dei sedimenti. Tali manovre sono state accompagnate da campagne di misura specifiche per la raccolta di dati utili allo svolgimento del progetto.



Figura 0.2: *Team del progetto Sediplan.*

1 Introduzione

In molti corsi d'acqua, la continuità del trasporto di sedimenti è interrotta dalla presenza di dighe e traverse, costruite prevalentemente nel corso del XX secolo (Figura 1.1). L'accumulo di materiale all'interno dei relativi bacini (o serbatoi) comporta la diminuzione del loro volume disponibile, la riduzione della vita utile del bacino ed un peggioramento dello stato eco-morfologico del fiume a valle della discontinuità.

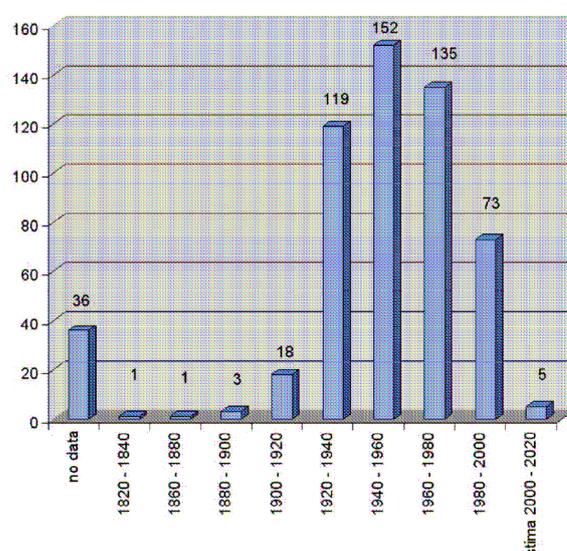


Figura 1.1: *Cronologia storica della costruzione delle grandi dighe in Italia, tratto da Bizzini e altri (2010)*

Con l'aumentare del numero di nuove dighe a livello globale, gli impatti negativi di un'errata gestione del sedimento sono sempre più diffusi ed evidenti: oltre il 53% del flusso globale di sedimenti nei bacini regolati è potenzialmente intrappolato nei serbatoi (Kondolf e altri, 2014).

Esistono tecniche collaudate che consentono il passaggio dei sedimenti da monte a valle degli sbarramenti, sia attraverso il serbatoio che aggirandolo, così da preservare la capacità dei bacini e ridurre al minimo gli effetti negativi per la morfologia dei corsi d'acqua e di conseguenza per gli ecosistemi che ospitano. Tuttavia, tali soluzioni, seppur efficaci, in molti casi non sono prese in considerazione per l'onerosità delle operazioni o per disinformazione. In questo documento si vuole fare una rassegna delle tecniche di gestione del sedimento e indicare quale tecnica meglio si addica ad un determinato bacino, sia per migliorarne la gestione attuale che per progettazioni future.

1.1 L'importanza dei sedimenti

I fiumi sono i principali vettori del trasporto del sedimento da monte verso valle. La sua movimentazione è influenzata dalla capacità di trasporto del fiume ma anche dalla geologia e orografia dell'area circostante.

È utile distinguere tra sedimenti grossolani e fini, sia per il loro ruolo nei sistemi fluviali che per la loro predisposizione ad essere intrappolati nei serbatoi. I sedimenti grossolani (ciottoli, ghiaia e sabbia) costituiscono le fondamenta dei letti dei fiumi, ma si ritrovano anche sulle barre e lungo le sponde. È proprio qui che alcune specie ittiche trovano habitat favorevoli alla riproduzione o zone rifugio essenziali per la loro sopravvivenza. Questo tipo di substrato non favorisce solamente la presenza dell'ittiofauna, ma anche le popolazioni di macroinvertebrati, a loro volta anello fondamentale della catena alimentare. A valle delle dighe, la carenza di sedimento causa l'incisione del canale e conseguenti effetti negativi su ponti e altre infrastrutture, in combinazione con il degrado della qualità dell'ecosistema acquatico.

I sedimenti a grana fine (limo e argilla) sono importanti per la struttura di alcune forme fluviali, come le piane alluvionali ad accrescimento verticale e gli estuari salmastri di pianura (*estuarine mud flats*), ma sono soprattutto fonte di torbidità, la quale può innescare il trasporto dei nutrienti e contaminanti legati alle particelle di argilla. Un aumento del carico di sedimenti fini (ad esempio, da lavorazioni del terreno) produce una eccessiva torbidità, e la deposizione di questa frazione fine su sedimenti a grana grossa può causare la perdita di specifici habitat acquatici (per esempio habitat di riproduzione dei salmoni). Al contrario, una diminuzione della torbidità, e quindi del carico di sedimenti, provoca dei cambiamenti delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua, quali la variazione della temperatura dell'acqua e/o la disponibilità di zone di rifugio per l'ittiofauna, fattori fondamentali nel caratterizzare un ambiente come adatto ad una data specie.

Per quanto riguarda la chimica dell'acqua, in corrispondenza di un impianto idroelettrico si ha una diminuzione del carico di nutrienti, i quali restano intrappolati nel bacino. Nel fiume Middle Yangtze (Cina), ad esempio, a seguito della costruzione di una serie di sbarramenti, il carico di sedimenti fini nel tratto di valle è diminuito del 91% e si è registrata una riduzione del fosforo totale del 77%. Il fosforo è il fattore limitante della crescita algale e del fitoplancton nel fiume e la sua riduzione implica una riduzione della produzione primaria operata dagli organismi fotosintetizzanti.

Il caso del fiume Adige, da un punto di vista strettamente morfologico confrontando le sezioni misurate nel 1954 e nel 1996, mostra come nell'ultima metà del secolo il processo di erosione si sia manifestato in tutto il corso del fiume a valle di Verona, ad esclusione dell'estremo tratto di foce, dove si è assistito ad un progressivo aumento della quota del fondo (Di Silvio e altri, 2008). Il confronto delle misure topografiche eseguite presso Angillara Veneta, in provincia di Padova, ha evidenziato un abbassamento della quota dell'alveo fino a 3.5 m in soli 32 anni, che si traduce in un tasso di erosione di circa 10 cm all'anno (Vangelista, 2011). L'effetto di intrappolamento del sedimento all'interno dei bacini varia sia in funzione del bacino che del tipo di sedimento. In generale, ogni serbatoio presenta un'efficienza di intrappolamento del 100% per quel che riguarda la ghiaia. La sabbia invece riesce a oltrepassare dighe di piccole dimensioni in torrenti di montagna, ma viene generalmente intrappolata al-

l'interno di serbatoi di grandi dimensioni. Infine, limo e argilla sono sempre trasportati come washload e generalmente non si depositano. Tuttavia, la percentuale di washload depositato aumenta con il tempo di residenza dell'acqua nel bacino stesso e quindi è un fenomeno tutt'altro che trascurabile nei grandi serbatoi a regolazione stagionale.

1.2 I sedimenti e la capacità del serbatoio

L'accumulo di sedimenti all'interno del serbatoio non ha effetti negativi esclusivamente dal punto di vista eco-morfologico, ma diminuisce anche la produttività del serbatoio stesso. Una maggiore quantità di sedimento depositato implica minore volume utile a disposizione e quindi una ridotta efficienza. In aggiunta, la sicurezza dell'intero impianto può essere

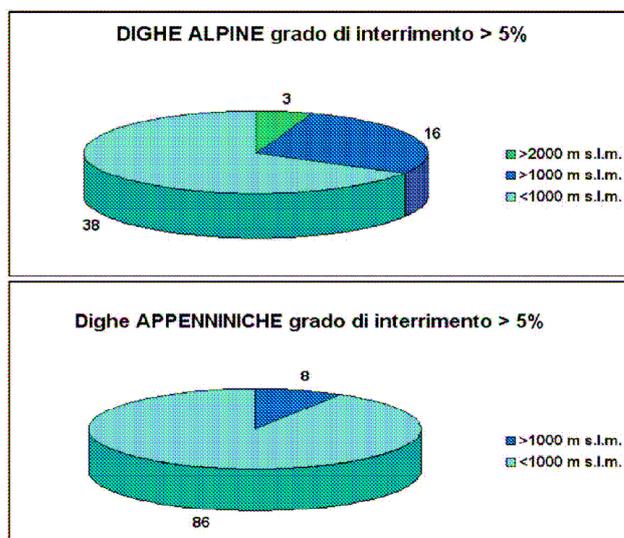


Figura 1.2: Serbatoi con interrimento > 5% in funzione della quota suddivisi per macro-aree omogenee, tratto da Bizzini e altri (2010)

compromessa dal possibile malfunzionamento degli organi di scarico della diga a causa dell'ostruzione dovuta al sedimento depositato, la quale comporta elevati costi di smaltimento del materiale in eccesso. Infine, ulteriori costi legati ad una cattiva gestione dei sedimenti riguardano l'usura delle turbine, soggette ad abrasione (Auel e altri, 2016). In Figura 1.2 è riportata una semplice statistica relativa agli impianti che in Italia soffrono di un grado di interrimento superiore al 5%.

A scala globale, il lavoro di Sumi e altri (2004) ha evidenziato come la capacità lorda complessiva di deposito di tutti i serbatoi del mondo sia di circa 6.000 km^3 , mentre il tasso di sedimentazione annuo valga circa 31 km^3 , equivalente allo 0,52% della capacità totale. A questo tasso di interrimento, metà del volume disponibile nei serbatoi al livello globale verrebbe saturato entro il 2100.

In conclusione, il sedimento accumulato nei serbatoi non è ubicato nella sede ottimale: occupa il volume utile all'interno del serbatoio, è sottratto ai fiumi nei tratti di valle, dove sarebbe

invece necessario per preservarne la naturale morfologia e funzionalità ecologica, ed è inoltre indispensabile al rallentamento dell'erosione nelle aree costiere.

1.3 Erosione della fascia costiera

In Italia, le spiagge rappresentano il 50% (3.950 km) della lunghezza totale dei 7.465 chilometri di costa, e 1.661 km sono soggetti ad erosione (Legambiente, Mancini e Zampetti, 2015). Nonostante i molteplici interventi di difesa realizzati negli anni, i quali in molti casi hanno cambiato radicalmente il paesaggio del litorale, il 42% delle spiagge italiane è comunque soggetto ad erosione (si riporta in Figura 1.3 un esempio di erosione costiera). Nel nord Italia una delle cause principali del ritiro delle spiagge è legata alla carenza di apporto di sedimento dal bacino affluente. Negli anni '50-'60 gran parte del materiale (sabbia e ghiaia) è stato scavato dagli alvei dei fiumi a scopo produttivo, per soddisfare la realizzazione di svariate opere idrauliche per la produzione di energia idroelettrica o la protezione del territorio (dighe, traverse, briglie di consolidamento), con la conseguente trattenuta a monte degli sbarramenti di grandi quantità di sedimento. Un ulteriore contributo all'arretramento delle spiagge è derivato anche dall'intensa antropizzazione delle coste (porti, abitazioni, strutture e infrastrutture), con oltre il 55% delle aree costiere italiane trasformato in cemento (Legambiente, Mancini e Zampetti 2015). Negli ultimi anni, inoltre, gli scenari derivanti dall'erosione costiera per mancata ricarica di sedimenti da monte sono stati intrecciati a quelli derivanti dagli effetti del cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello del mare e l'estremizzazione degli eventi. La perdita di suolo nella fascia costiera in associazione agli effetti del cambiamento climatico si traduce non solo in perdita di aree di potenziale sviluppo turistico, ma anche e comunque in perdita di habitat e biodiversità, e di patrimonio paesaggistico ed ambientale (MATTM-Regioni, 2018).



Figura 1.3: *Esempio di arretramento della zona costiera*

2 Normativa vigente

2.1 Premessa

Al fine di inquadrare in dettaglio le tematiche affrontate nel presente documento, si ritiene imprescindibile fornire un quadro di insieme delle normative che a livello provinciale, regionale, nazionale ed internazionale regolano le operazioni di gestione dei sedimenti presso gli invasi e le grandi traverse idroelettriche. Si è pertanto provveduto ad indagare gli strumenti normativi e legislativi che regolano, non solo in Italia, le operazioni di svasso, sfangamento e spurgo del materiale solido depositato a monte delle grandi traverse fluviali e dei bacini e serbatoi idroelettrici. In particolare, l'analisi è stata focalizzata sul confronto dei livelli e della persistenza temporale delle concentrazioni di solidi sospesi in alveo a valle dei siti di restituzione ammessi o considerati accettabili in vari Paesi del mondo.

Da quanto esposto nei paragrafi successivi, si evince come, da un punto di vista normativo ed operativo, non esista ad oggi uno standard internazionale che regolamenti le operazioni di svasso e fluitazione degli invasi idroelettrici. Gli approcci e le metodologie prescritte per legge variano in tutti i Paesi dell'arco alpino e si fondano quasi tutte su più ampie e generiche indicazioni di letteratura internazionale.

2.2 Le prescrizioni normative e procedurali vigenti

2.2.1 Normativa nazionale italiana

L'art.117 del D. Lgs 152/2006 riporta che per ciascun distretto idrografico è adottato un **Progetto di Gestione**, che rappresenta l'articolazione interna del Piano di Bacino Distrettuale di cui all'articolo 65 del medesimo D. Lgs.. Le Autorità di bacino, ai fini della predisposizione dei Piani di Gestione, devono garantire la partecipazione di tutti i soggetti istituzionali competenti nello specifico settore. Il Progetto di Gestione, previsto dalla Direttiva Quadro sulle Acque (DQA, Direttiva 2000/60/CE) rappresenta lo strumento operativo attraverso il quale si devono pianificare, attuare e monitorare le misure per la protezione, il risanamento e il miglioramento dei corpi idrici superficiali e sotterranei e agevolare un utilizzo sostenibile delle risorse idriche. In particolare, deve essere assicurato il "Buono Stato Ecologico" dei corpi idrici, in base alla valutazione combinata di tre aspetti: qualità biologica, qualità chimico-fisica e qualità idromorfologica. Questi aspetti vengono influenzati dalla presenza di pressioni e impatti antropici insistenti sul territorio. Alcuni esempi di pressioni sono la presenza di discariche, l'agricoltura, l'idroelettrico o la presenza di aree ricreative.

A livello di singolo impianto idroelettrico, il **Progetto di Gestione** (art. 3, comma 1, del DM 30 giugno 2004), predisposto dal gestore e approvato dalle regioni, previo parere preventivo

dell'amministrazione competente a vigilare sulla sicurezza dell'invaso e dello sbarramento, è finalizzato a definire il quadro previsionale delle operazioni di svaso, sfangamento e spurgo connesse con le attività di manutenzione dell'impianto. Il Progetto di Gestione può essere eseguito anche per stralci, per assicurare il mantenimento ed il graduale ripristino della capacità utile propria dell'invaso e per garantire prioritariamente in ogni tempo il funzionamento degli organi di scarico e di presa, nonchè per definire i provvedimenti da porre in essere durante le suddette operazioni per la prevenzione e la tutela delle risorse idriche invasate e rilasciate a valle dello sbarramento, conformemente alle prescrizioni contenute nei piani di tutela delle acque e nel rispetto degli obiettivi di qualità dei corpi idrici interessati. Copia del progetto deve essere conservata presso l'ufficio locale del gestore a disposizione dell'autorità preposta al controllo. Restano valide in ogni caso le disposizioni fissate dal decreto del Presidente della Repubblica n. 1363 del 1959 e dalle successive disposizioni d'attuazione. Il **Progetto di Gestione** contiene di norma le seguenti informazioni (art. 3, comma 2, del DM 30 giugno 2004):

- a) il volume di materiale solido sedimentato nel serbatoio al momento della redazione del progetto ed il volume medio di materiale solido che sedimenta in un anno nel serbatoio;
- b) le caratteristiche qualitative dei sedimenti sia fisiche, ricavate da analisi di classificazione granulometrica, che chimiche, anche in termini di inquinanti presenti, necessarie per ottenere, fra l'altro, informazioni sulla provenienza del materiale solido sedimentato nel serbatoio, sulla erodibilità dei suoli del bacino idrografico sotteso dallo sbarramento e sulla influenza delle attività antropiche che gravitano sul medesimo bacino idrografico, nonchè, ove necessario, il saggio biologico per evidenziare eventuali effetti tossici;
- c) le caratteristiche qualitative, ricavate da analisi, della colonna d'acqua sovrastanti il materiale depositato;
- d) la quantità e la qualità del materiale solido in sospensione nelle acque normalmente rilasciate nel corpo idrico a valle dello sbarramento;
- e) la quantità e la qualità del materiale solido che si avrebbe in sospensione nel corso d'acqua a valle in occasione di morbide in assenza dello sbarramento;
- f) le modalità e i tempi per il ripristino della capacità utile del serbatoio; tali attività devono comunque concludersi entro la scadenza della concessione.

Nel caso di **asportazione di materiale** a bacino pieno o vuoto, il Progetto di Gestione indica anche (art. 3, comma 3, del DM 30 giugno 2004):

- a) il volume e la caratterizzazione del materiale solido che si prevede di rimuovere dal serbatoio;
- b) le modalità di rimozione del materiale;

- c) le modalità di dislocazione, ovvero di smaltimento del materiale rimosso, da individuare in relazione alle caratteristiche dell'ambiente destinato a ricevere i materiali asportati, o un'altra sua riutilizzazione consentita considerando, tra l'altro, in relazione alle sue caratteristiche di qualità, l'utilizzo per colmate, l'ammendamento per terreni agricoli, l'utilizzo per riprofilare porzioni della morfometria dell'alveo fluviale in relazione alle specifiche caratteristiche della zona d'alveo interessata;
- d) le aree di dislocazione del materiale rimosso che devono essere poste in condizioni di sicurezza idraulica sia per quanto riguarda la stabilità degli ammassi, sia per quanto riguarda l'esposizione a fenomeni erosivi, sia in caso di dislocazione in aree golenali, per quanto riguarda il verificarsi di piene del fiume;
- e) la verifica preventiva della fattibilità delle soluzioni prescelte, secondo i criteri definiti nello stesso Progetto di Gestione in relazione alle specifiche caratteristiche della zona d'alveo interessata.

Nel caso di **rilascio a valle dei sedimenti**, il Progetto di Gestione indica anche (art. 3, comma 4, del DM 30 giugno 2004):

- a) i livelli e la persistenza delle concentrazioni che non possono essere superati durante le attività di svaso, sfangamento e spurgo, compatibili con le prescrizioni contenute nei piani di tutela delle acque e con gli obiettivi di qualità dei corpi idrici con specifico riferimento agli usi potabili e alla vita acquatica;
- b) il programma operativo delle attività di svaso ovvero di spurgo del serbatoio, che deve essere redatto tenendo conto dei cicli biologici delle popolazioni ittiche, con particolare riferimento al periodo riproduttivo e alle prime fasi di sviluppo, in modo da minimizzare gli effetti negativi sull'equilibrio del sistema acquatico a monte e a valle dello sbarramento; ove necessario, potranno essere previsti adeguati interventi di ripopolamento delle specie ittiche, da porre a carico del gestore, per ripristinare le condizioni ecologiche antecedenti le operazioni di spurgo;
- c) il volume di materiale che, tramite corrente idrica torbida, si prevede di rimuovere dal serbatoio per ciascuna operazione di spurgo;
- d) il volume d'acqua da rilasciare e la presunta portata media e massima nel rispetto dei limiti di concentrazione prefissati dallo stesso Progetto di Gestione, tenendo conto delle caratteristiche dell'invaso e del corso d'acqua di valle, per ciascuna operazione di svaso ovvero di spurgo;
- e) i sistemi di monitoraggio del corpo idrico ricettore a valle dello sbarramento prima, durante e dopo le operazioni di svaso ovvero di spurgo;
- f) l'elenco dei comuni rivieraschi interessati posti a valle dello sbarramento e compresi in una distanza prefissata nel Progetto di Gestione, misurata lungo l'asta fluviale, nonché quelli confinanti con l'invaso;

- g) l'indicazione delle tipologie degli effetti potenziali dovuti alle operazioni di svaso ovvero di spurgo, a valle dello sbarramento, e delle misure adottate per mitigarli, in relazione al rispetto degli obiettivi di qualità nonché della salvaguardia delle popolazioni ed infrastrutture presenti a valle dell'invaso e nelle sue immediate vicinanze, della vita acquatica e degli altri usi della risorsa idrica, del regime idrologico nonché della capacità di tollerare accumuli temporanei dei materiali di sedimentazione;
- h) le azioni di prevenzione per non pregiudicare gli usi in atto a valle dell'invaso.

Il Progetto di Gestione, ove possibile, in conformità a quanto stabilito al comma 4, prevede scenari per l'utilizzazione degli **scarichi di fondo** (art. 3, comma 5, del DM 30 giugno 2004) in corrispondenza degli eventi di piena, in relazione alla possibilità di garantire la funzionalità degli scarichi di fondo a fronte dei fenomeni di interrimento, ricostituire il trasporto solido a valle degli sbarramenti e modulare le condizioni di deflusso a valle degli sbarramenti, ricorrendo alla possibilità di laminazione dell'invaso.

La realizzazione del Progetto di Gestione non è obbligatoria per tutti gli sbarramenti (art. 1, comma 1, del DM 30 giugno 2004). È fondamentale infatti distinguere tra:

- "**grandi dighe**": caratterizzate da un'altezza $H \geq 10 \text{ m}^1$ o da un volume $V \geq 100.000 \text{ m}^3$, le quali vengono amministrate a livello nazionale e per le quali è **obbligatoria** la stesura del Progetto di Gestione;
- "**piccole dighe**": caratterizzate da $H < 10 \text{ m}$ o da $V < 100.000 \text{ m}^3$, le quali vengono amministrate a livello regionale e per le quali **non è obbligatoria** la stesura del Progetto di Gestione.

Per quanto riguarda invece l'aspetto delle sanzioni amministrative, l'art. 133 del D. Lgs 152/2006, riporta che, salvo che il fatto costituisca reato, è punito con la sanzione amministrativa pecuniaria da tremila euro a trentamila euro chiunque:

- a) nell'effettuare delle operazioni di svaso, sghiaimento o sfangamento delle dighe, superi i limiti o non osservi le altre prescrizioni contenute nello specifico Progetto di Gestione dell'impianto di cui all'articolo 114, comma 2;
- b) effettui le medesime operazioni prima dell'approvazione del Progetto di Gestione.

Nel caso in cui lo sbarramento di riferimento non sia soggetto alle norme del decreto del Presidente della Repubblica 1 novembre 1959, n. 1363, e successive modifiche ed integrazioni, le Regioni stabiliscono, in relazione alle caratteristiche degli sbarramenti stessi e dei corpi idrici interessati, quali di essi debbano essere sottoposti agli obblighi del decreto 30.06.2004 e quali norme siano da applicare. Le attività di svaso, sfangamento e spurgo non devono comunque pregiudicare la qualità dell'acqua invasata e del corpo recettore (art. 1, comma 2, del DM 30 giugno 2004).

¹ Si ricorda che la competenza amministrativa della Provincia di Bolzano relativamente alle dighe (in materia di sicurezza degli sbarramenti di ritenuta) si applica a quelle che non superano i 15 metri di altezza e che determinano un vaso non superiore a $1.000.000 \text{ m}^3$

Quanto descritto fin'ora rappresenta la normativa di riferimento a livello nazionale; successivamente, le diverse regioni o province autonome hanno recepito quanto riportato dal Testo Unico Ambientale e nella DQA, formulando un proprio Progetto di Gestione.

2.2.2 Le regolamentazioni regionali e provinciali

2.2.2.1 Provincia Autonoma di Bolzano

Per la **Provincia Autonoma di Bolzano** (PAB), la normativa di riferimento per la materia d'esame è la L.P. del 18 giugno 2002, n.8, art. 49 e il D.P.G.P. del 21 gennaio 2008, n.6, capo VII.

L'art. 49 della L.P. 8/2002 tratta delle "Disposizioni in materia di bacini artificiali e di restituzioni di acque", dove, al fine di garantire il mantenimento o il raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici, con regolamento di esecuzione vengono fissate norme in materia di restituzione delle acque utilizzate per la produzione idroelettrica. I punti principali riguardano:

- l'assicurare il mantenimento della capacità di invaso e la salvaguardia sia della qualità dell'acqua invasata, sia del corpo recettore. A tal fine, le operazioni di svaso, sghiaimento e sfangamento delle dighe sono effettuate sulla base di un **Progetto di Gestione** di ciascun impianto. Il Progetto di Gestione è predisposto dal Gestore e va presentato per l'approvazione all'Agenzia per l'ambiente, che si esprime entro 180 giorni, previo parere dell'Ufficio Caccia e Pesca, dell'Ufficio Gestione Risorse Idriche e dell'autorità competente in materia di dighe.
- la destinazione dei materiali materiali solidi che vengono recuperati dall'acqua per garantire una corretta gestione degli impianti, che non possono essere reimmessi nel corpo idrico ma devono essere smaltiti in modo corretto;
- la definizione dei canoni di concessione di inerti, per cui possono essere determinate specifiche modalità ed importi per favorire lo sghiaimento e sfangamento degli invasi per asportazione meccanica.

Similmente, il capo VII del D.P.G.P. 6/2008, che comprende gli articoli dal 55 al 63, riporta ulteriori "Disposizioni sulle acque" in materia di tutela delle acque. Il presente capo detta i criteri per la redazione dei progetti di gestione degli invasi di cui all'articolo 49, commi 2, 3, 4 e 5, della L.P. 8/2002, nel rispetto degli obiettivi di qualità fissati dal piano di tutela delle acque e per la tutela degli animali acquatici protetti dalla legge provinciale 9 giugno 1978, n. 28, e successive modifiche. Il capo VII del D.P.G.P. 6/2008, riporta gli stessi concetti descritti nel DM 30 giugno 2004 quindi: definizioni generali, struttura del Progetto di Gestione, le operazioni eseguite e il monitoraggio.

Almeno quattro mesi prima di effettuare operazioni di svaso, sfangamento o spurgo, che possono provocare intorbidimento dell'acqua o repentini aumenti di portata, il gestore ne dà comunicazione all'Agenzia per l'ambiente ed alle Ripartizioni provinciali di Foreste, Acque Pubbliche ed Energia nonché di Opere Idrauliche ed agli acquicoltori, fornendo un programma di sintesi delle attività previste e delle eventuali cautele da adottare.

PROVINCIA AUTONOMA BOLZANO Fluitazione bacino artificiale di Fortezza	V > 1.000.000 m ³ v/v
Valore per le prime 36h	0,3%
Valore medio su 2h	1%
Valore medio per l'intera durata dell'operazione	0,7%
Valore max per 20'	1,5%

Tabella 2.1: *Provincia Autonoma di Bolzano: valori limite di torbidità durante l'operazione di fluitazione nel bacino di Fortezza (ITCOLD 2016)*

Indicatore	Soglia	Periodo
Valore medio 20 min	<0,3% vol (< 3ml/l)	Durante l'apertura degli scarichi nelle prime 36 ore delle operazioni di sfangamento
Valore medio generale	<0,7% vol (< 7ml/l)	Determinato sull'intera durata delle operazioni di fluitazione degli invasi o delle grandi traverse
Valore medio 2 h	<1,0% vol (< 10ml/l)	Determinato come valore medio calcolato su un periodo di 2 h di fluitazione
Valore massimo 20 min	<1,5% vol (< 15ml/l)	Determinato come valore massimo calcolato su un periodo di 20 minuti di fluitazione

Tabella 2.2: *Limitazioni sulla concentrazione dei solidi sedimentabili (espressa in ml/l) in Provincia di Bolzano*

All'interno del piano di tutela delle acque, in funzione degli obiettivi di qualità definiti per gli specifici corpi idrici, sono fissati i livelli e la persistenza delle concentrazioni che non possono essere superati durante le operazioni di svaso, sfangamento e spurgo, in modo da consentire le operazioni medesime senza arrecare danni irreversibili al corpo recettore. Gli spurghi dei dissabbiatori presso le opere di presa sono eseguiti in modo da ridurre al minimo l'impatto sulle acque superficiali; vanno evitati gli spurghi nei mesi tra novembre e aprile. Inoltre, lo svuotamento delle vasche viene effettuato lentamente e con gradualità. Gli spurghi sono eseguiti con una frequenza tale da garantire nel corpo idrico a valle della presa una concentrazione di materiali sedimentabili inferiore o pari a 10 ml/l (art. 48, D.P.G.P. 6/2008). La Tabella 2.1 riporta i valori limite di concentrazione dei solidi sospesi rilevati durante una fluitazione nel bacino di Fortezza.

Il gestore ed il concessionario sono inoltre responsabili per i danni causati dall'apertura degli organi di scarico. Essi sono tenuti ad eseguire, a proprie spese, gli interventi prescritti dall'Agenzia, per eliminare il danno ambientale causato e prevenire una sua eventuale ripetizione. Si riporta in Tabella 2.2 una sintesi schematica delle prescrizioni vigenti in Provincia di Bolzano.

Si ricorda come il peso specifico dei solidi sospesi sia pari a ca. 1,5 g/ml per le rocce calca-

Quando	Parametri chimico fisici dei sedimenti	Macro-benthos	Pesci	Torbidità
Prima della fluitazione	X	X	X	
Durante la fluitazione				X
Dopo la fluitazione		X	X	

Tabella 2.3: *Calendario prescritto dei monitoraggi in relazione alle attività di fluitazione*

ree e dolomitiche e leggermente maggiore per quelle di origine magmatica (1,5 – 1,7 g/ml). È prescritto inoltre anche lo svolgimento di un programma di monitoraggio dello stato della qualità del corso d'acqua interessato dalle operazioni di fluitazione, illustrato schematicamente in Tabella 2.3. A differenza della normativa applicata in Regione Veneto, l'art. 58 del D.P.G.P. 6/2008 dispone che in provincia di Bolzano *"nel caso di diversi sbarramenti sullo stesso corso d'acqua o bacino idrografico, l'Agenzia coordina le operazioni di svasso, sfangamento e spurgo connesse con le attività di manutenzione degli impianti, al fine di ottimizzare la gestione dei sedimenti, iniziando le attività nell'invaso situato a maggior altitudine"*.

2.2.2.2 Provincia Autonoma di Trento

La **Provincia Autonoma di Trento** (PAT) ha redatto il Piano di Tutela delle Acque (PTA) nel gennaio 2015, sulla base del D.Lgs. 152/2006. Le direttive nazionali sono state totalmente recepite, pertanto in questo caso è sufficiente fare riferimento a tale decreto.

In particolare, l'art. 16 del PTA, allegato L, riporta le direttive per le "Operazioni di svasso e di spurgo dei bacini", il quale corrisponde all'art 114, del D.Lgs. 152/2006 .

Ulteriore normativa a livello provinciale è rappresentata dalla L.P. 6 marzo 1998, n.4 (aggiornata al 12 giugno 2019) nella quale si specifica che *"Nel piano di tutela delle acque o in altri provvedimenti a carattere pianificatorio o in altri strumenti approvati con specifica deliberazione della Giunta provinciale possono essere definiti i criteri ambientali per la definizione del contenuto delle concessioni di grande derivazione d'acqua a scopo idroelettrico"*. Si cita ad esempio lo svasso del bacino di Pezzè di Moena sul torrente Avisio effettuato nel 2012 (vedasi Figura 2.1). Lo svasso è stato autorizzato dal Servizio Utilizzazione delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Trento con Determinazione n. 102 dell'8 giugno 2012. La fluitazione del materiale presente all'interno del bacino di Pezzè è stata condotta da Hydro Dolomiti ENEL dal 15 al 27 ottobre 2012 ed ha seguito le seguenti fasi temporali:

- fase iniziale con la predisposizione dell'alveo che prevede lo scarico di una portata di acqua non inferiore a 3 m³/s per almeno 5 ore;
- fase di svasso controllato previsto tra il primo ed il secondo giorno con il rilascio dell'acqua dallo scarico di superficie e dallo scarico di fondo con una portata che passa da 3 a 5 m³/s aggiungendosi alla portata naturale dell'Avisio;



Figura 2.1: *Il torrente Avisio a Predazzo durante le operazioni di fluitazione (Negri e altri, 2012)*

- fase di fluitazione controllata tra il secondo ed il tredicesimo giorno dove si prevede l'apertura dello scarico di fondo e successivamente quello di esaurimento;
- fase di re-invaso con la graduale chiusura dello scarico di fondo e dello scarico di esaurimento ed il contemporaneo accumulo delle portate naturali del torrente Avisio.

Le operazioni di svaso sono state eseguite seguendo una serie di disposizioni presenti nella citata Determinazione Nr. 102, per tenere conto dell'impatto dei sedimenti rilasciati sull'ecosistema fluviale. Era richiesto infatti che i valori di percentuale di saturazione dell'ossigeno avessero un valore medio giornaliero superiore o uguale all'80% e punte minime non inferiori al 60%. Particolare attenzione è stata posta al controllo della torbidità con i seguenti valori massimi consentiti:

- massima torbidità consentita: 1% (volume/volume), valore medio su 2 ore;
- massima torbidità raccomandata: 1% (volume/volume), valore medio su 1 ora.

In generale il valore guida delle torbidità doveva essere contenuto tra 0,35-0,40% e non superare il valore soglia di 0,65% per l'intera durata dello svaso. Era possibile una deroga a questi valori solamente nelle prime 6 ore di apertura iniziale delle paratoie dello scarico di fondo raggiungendo un valore massimo di 1,5%. Il monitoraggio è stato eseguito con una sonda di torbidità che ha raccolto i dati in continuo, registrando anche altri parametri come conducibilità, pH ed ossigeno. Parallelamente sono stati utilizzati dei campionatori automatici ed effettuati campionamenti istantanei della qualità delle acque. È stato altresì eseguito un campionamento dei macroinvertebrati seguendo il metodo IBE che valuta la qualità biologica del corso d'acqua.

2.2.2.3 Regione Veneto

Nel caso della **Regione Veneto**, le Direzioni regionali competenti, in collaborazione con ARPAV, hanno predisposto un quadro generale di disposizioni contenente:

- la definizione di diverse **tipologie di invasi** minori, di competenza regionale quali:
 - a) invasi con $V > 100.000 \text{ m}^3$ o con sbarramento di $h > 10 \text{ m}$, per cui si applicano integralmente le norme di cui al DM 30 giugno 2004;
 - b) invasi (comprese vasche artificiali) con V tra 100.000 m^3 e 20.000 m^3 e con sbarramento di h compreso tra 10 e 2 m;
 - c) invasi (comprese vasche artificiali) con $V < 20.000 \text{ m}^3$ e con sbarramento di $h < 2 \text{ m}$;
 - d) traverse fluviali su corsi d'acqua significativi ai sensi dell'art. 1 del D. Lgs. 152/99;
 - e) traverse fluviali su altri corsi d'acqua;
- l'individuazione dei **contenuti** del Progetto di Gestione per ciascuna tipologia d'invaso;
- le **procedure** per la valutazione e approvazione dei Piani di Gestione, in sostituzione di quelle adottate con DGR 735/2002. È prevista quindi una fase istruttoria preliminare, seguita da eventuali integrazioni, con sospensione dei termini e conferenza istruttoria con rappresentanti delle Strutture competenti. Si considerano eventuale parere preventivo della Direzione Dighe ed eventuali prescrizioni. L'approvazione del progetto viene disposta con deliberazione di Giunta regionale su parere della conferenza istruttoria, il cui verbale viene allegato al provvedimento.
- le **misure** connesse al Piano Tutela Acque (PTA): misure per la tutela delle acque, misure per il monitoraggio delle acque prima, durante e dopo le operazioni medesime, i livelli e la persistenza delle concentrazioni.

La normativa regionale riguardante la modalità di svasso prevede una **durata** compresa tra alcuni giorni e 1-2 settimane, l'abbassamento della quota del bacino mediante gruppi di produzione e/o scarichi di mezzo fondo con conseguente aumento delle portate di deflusso, l'apertura dello scarico di fondo con progressivo abbassamento del livello lacuale e infine il passaggio da una condizione di parziale invaso alla condizione cosiddetta "a canaletta". Alcune misure di carattere generale prevedono di:

- non effettuare l'intervento di svasso o sghiaiamento con spurgo nei **periodi** di magra o in prossimità delle fasi critiche di riproduzione salmonicola e di svezzamento degli avanotti;
- effettuare il rilascio di cacciate di **acqua pulita**, per un congruo periodo alla fine delle operazioni di svasso;
- **evitare** la concomitanza di altri svassi o spurghi nel medesimo bacino idrografico;

- accertarsi dell'assenza di **problematiche idrogeologiche** legate all'abbassamento dell'invaso;
- valutare la possibilità di recuperare, prima dello spurgo, l'**ittiofauna** a valle della diga, mediante reti o con la costruzione di briglie a trappola; il pesce recuperato può essere sistemato provvisoriamente in un altro luogo e al termine delle operazioni, la popolazione ittica, eventualmente danneggiata, deve essere ripristinata sia nell'invaso che in alveo, in accordo con la provincia competente.

Inoltre prima dell'inizio delle operazioni il gestore è tenuto a concordare preventivamente e dare congruo preavviso della **data e ora** precisa di inizio ad ARPAV, Provincia e Genio Civile territorialmente competente. Le attività di controllo dovranno essere avviate almeno un'ora prima dell'inizio e si concluderanno almeno sei ore dopo la fine delle operazioni. Durante le operazioni il Gestore si impegna a misurare la torbidità sia mediante torbidimetro che realizzando campionamenti con coni Imhoff almeno ogni due ore. I valori limite di torbidità sono riportati in Tabella 2.4. Tutta la strumentazione deve essere in ogni momento verificabile da parte delle Autorità di controllo. Il **monitoraggio** verrà eseguito nel corso d'acqua a monte e a valle dell'invaso, oltre che nell'eventuale corso d'acqua principale in cui si immette. Le operazioni di campionamento ed analisi dell'ittiofauna devono essere di tipo conservativo e al termine delle operazioni gli esemplari catturati devono essere reimmessi nel corso d'acqua. ARPAV garantisce i controlli durante le operazioni mediante misure con coni Imhoff (da effettuare in prossimità al torbidimetro del Gestore), prelievi per determinare i solidi sospesi totali e misure dell'ossigeno disciolto, dando preventiva comunicazione alla Provincia del proprio programma operativo. Il valore medio dell'ossigeno disciolto non deve essere inferiore all'80% della percentuale di saturazione e il valore minimo non può essere minore del 60%. I valori sono da misurarsi ad una distanza compresa tra 200 e 500 m a valle del punto di scarico della diga o vasca, compatibilmente con la morfologia e l'accessibilità dei luoghi. Solo in casi eccezionali e debitamente motivati tale distanza può essere diversa da quella sopra riportata. ARPAV attua i controlli per quanto possibile con continuità e sulla base di eventuali programmi concordati localmente con la Provincia, al fine di un confronto con i dati forniti dal Gestore. I costi per tutti i controlli effettuati da ARPAV sono a totale carico del Gestore, così come i costi della Provincia competente per l'analisi della fauna ittica. Il Gestore, alla fine delle operazioni di svaso/spurgo, dovrà predisporre una relazione sullo svolgimento delle proprie attività.

Qualora sia prevista la rimozione meccanica dei sedimenti a seguito di operazioni di svaso, questi vanno caratterizzati dal punto di vista qualitativo, ai sensi del D.M. 25.10.1999 Nr. 471, ai fini della verifica della necessità di prevedere il loro smaltimento in discarica controllata oppure della possibilità di un loro utilizzo. Nel caso in cui il materiale risulti riutilizzabile, l'estrazione dovrà avvenire nel rispetto della normativa regionale vigente.

Secondo la normativa di settore in vigore di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 138 del 2006, in Veneto sono da rispettare le soglie di concentrazione di solidi sospesi sedimentabili riportate in Tabella 2.4, che si discostano leggermente da quelle adottate a riferimento in Provincia di Bolzano.

La normativa veneta prescrive l'acquisizione di dati in continuo, con un intervallo di registra-

Indicatore	Soglia
Valore massimo media di 4 h	1 vol % (= 15 g/l)
Valore massimo media di 2 h	2 vol % (= 30 g/l)
Valore massimo come media per l'intera durata	0,65 vol % (= 9,8 g/l)
Valore guida come media di 2 ore	1 vol % (circa 15 g/l)
Valore guida come media per l'intera durata	0,4 vol % (circa 6 g/l)

Tabella 2.4: *Limitazione sulla concentrazione dei solidi sospesi in Veneto (volume di invaso superiore a 20.000 m³ e altezza dello sbarramento superiore a 10 m*

zione non superiore a 5 minuti. Nel caso di invasi di più piccole dimensioni le soglie indicate in Tabella 2.4 variano leggermente.

2.2.2.4 Regione Lombardia

La normativa vigente in Regione Lombardia è contenuta nella Delibera della Giunta Regionale 5376 del 24 Ottobre 2016, recante "Direttive tecniche per la predisposizione, l'approvazione e l'attuazione dei progetti di gestione degli invasi". Le direttive sono integrate da 2 allegati: l'allegato 1 concerne i piani di monitoraggio delle operazioni di svaso, sfangamento e spurgo, mentre l'allegato 2 riporta i criteri per l'esecuzione di tali operazioni e definisce le concentrazioni da non superare nelle acque.

È importante sottolineare come le Direttive affrontino, oltre ai contenuti del progetto di gestione per gli sbarramenti soggetti a tale iter (Figura 2.2) e ai criteri per l'esecuzione delle operazioni ed alle modalità di monitoraggio, anche il coordinamento delle operazioni in caso di diversi sbarramenti posti sullo stesso corso d'acqua o bacino idrografico. Infatti, al fine di minimizzare gli effetti cumulativi delle operazioni incidenti sugli stessi corpi idrici, il Gestore deve provvedere a presentare un progetto di gestione integrato comprensivo di tutti gli invasi di propria competenza, la cui gestione possa determinare effetti nella medesima area di influenza, e tener conto degli eventuali progetti, già approvati, ricadenti sullo stesso corso d'acqua o sul bacino afferente e aventi effetto sulla medesima area di influenza. L'autorità competente, ai fini di un maggiore coordinamento, può convocare alla Conferenza dei Servizi della fase istruttoria i gestori degli altri invasi presenti nel medesimo bacino idrografico qualora lo ritenga opportuno, ed in caso di operazioni contestuali è facoltà dell'autorità competente richiedere lo spostamento temporale di una o più operazioni previste nei progetti di gestione. Inoltre, l'autorità regionale competente istituisce un "Tavolo tecnico" finalizzato a valutare i contenuti dei piani operativi presentati successivamente al progetto di gestione, a verificare il rispetto delle prescrizioni e valutare, in corso d'opera, l'andamento delle operazioni, ed a valutare infine i risultati e gli effetti delle operazioni sui corpi idrici coinvolti. Il Gestore è di norma convocato alle sedute del Tavolo tecnico, al fine di presentare i contenuti del piano operativo, relazionare in merito all'andamento delle operazioni e presentare i risultati del monitoraggio.

Un altro aspetto molto importante nelle Direttive lombarde è la possibilità di rilasciare sedimenti durante eventi di piena (le cosiddette operazioni in "coda di piena"). Infatti, nel caso di operazioni sistematiche finalizzate alla gestione dell'interrimento attraverso l'apertura del-

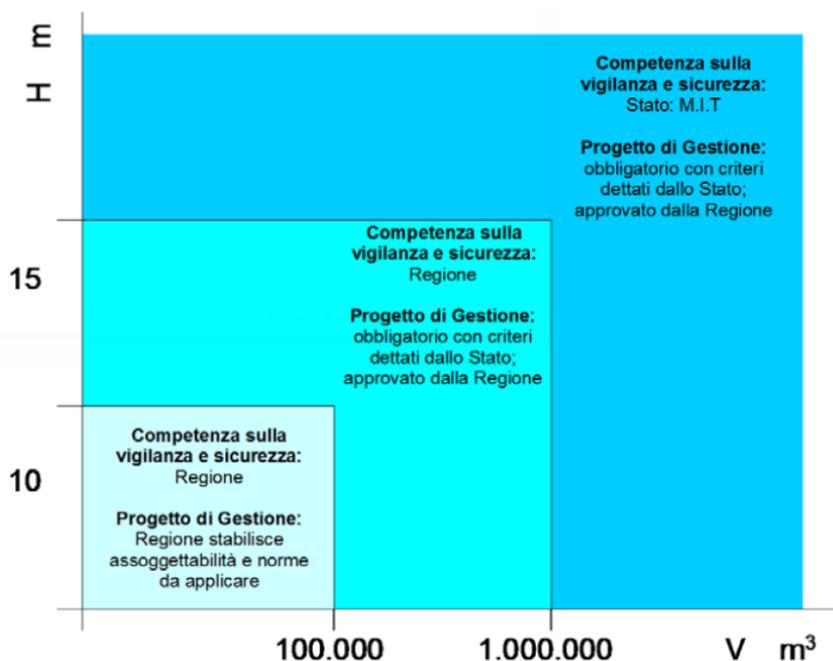


Figura 2.2: Competenze in materia di sicurezza e vigilanza degli sbarramenti e progetti di gestione degli invasi, a seconda delle caratteristiche dimensionali delle opere

le opere di scarico durante particolari eventi idrologici (concernenti unicamente la gestione delle opere di scarico e non l'utilizzo di mezzi meccanici), il Gestore descrive, all'interno del piano delle operazioni sistematiche, gli eventi idrologici individuati come significativi, specificandone la frequenza prevedibile annualmente per gli stessi e i periodi dell'anno in cui risultano attesi.

Successivamente all'approvazione del progetto di gestione, ravvisate le condizioni meteorologiche o idrologiche adatte per effettuare l'operazione prevista dal progetto di gestione, il gestore avvisa l'autorità competente e l'ARPA dell'imminente apertura degli scarichi di fondo. Le operazioni devono essere effettuate nel rispetto di quanto indicato nel progetto di gestione e delle eventuali prescrizioni dell'autorità.

L'autorità competente ha comunque facoltà, nel decreto di approvazione del progetto di gestione, di prescrivere modalità e tempistiche più specifiche per le comunicazioni inerenti le diverse operazioni sistematiche previste. Al termine delle operazioni, il gestore ne dà comunicazione all'autorità competente e all'ARPA, indicando durata delle operazioni, modalità e condizioni operative (grado di apertura degli scarichi, portata in ingresso all'invaso e scaricata, livello dell'invaso, stima del volume di sedimento rilasciato a valle). Le fasi salienti del progetto di gestione sono riportate in Figura 2.3.

L'allegato 2 stabilisce per le operazioni di svasso, sfangamento o spurgo e i valori massimi di riferimento per la concentrazione di solidi sospesi, i quali vengono riportati in Tabella 2.5. L'individuazione della colonna di riferimento all'interno della Tabella viene effettuata sulla base delle necessità di tutela della fauna ittica per ogni corpo idrico compreso nell'area di in-



Figura 2.3: Schema riassuntivo dei contenuti del progetto di gestione

fluenza. Qualora la comunità ittica presente risulti alterata rispetto alle attese, a causa delle caratteristiche naturali del corpo idrico o a causa di pressioni antropiche diverse dalle operazioni di svaso o gestione dei sedimenti, la scelta tra le colonne A, B o C è effettuata tenendo in considerazione i seguenti aspetti: caratteristiche della comunità ittica e delle popolazioni delle specie presenti; tipologia delle misure gestionali in atto o programmate per il riequilibrio della comunità ittica; contenuti degli strumenti di pianificazione di settore in materia di pesca e tutela della fauna ittica. I limiti indicati nella colonna D potranno essere individuati solo nel caso in cui la fauna ittica risulti completamente assente e non siano previsti nel breve termine interventi atti al suo ripristino.

Stabilito il valore di concentrazione dei solidi sospesi totali da non superare per l'intera durata delle operazioni (Tabella 2.5), possono essere calcolati i valori guida per l'esecuzione delle attività: la concentrazione media giornaliera non deve superare il doppio del limite imperativo, e per un periodo massimo di due ore, il valore non deve superare di 3 volte il limite giornaliero. Viene poi specificato come - ai fini della protezione dell'ecosistema acquatico e a scopo cautelativo - è sconsigliabile, in assenza di dati, studi e rilievi sito-specifici che escludano un aumento di effetti avversi sui recettori a valle dell'invaso, l'esecuzione di operazioni che implicino il rilascio di sedimenti a valle per un periodo di tempo superiore alle due settimane. In caso di operazioni annuali e in mancanza di dati sperimentali per lo specifico sistema idrico, ai fini della salvaguardia del popolamento ittico e della capacità riproduttiva naturale, le concentrazioni soglia devono essere opportunamente ridotte rispetto a quanto riportato in Tabella 2.5. Tuttavia, è di grande rilevanza il fatto che venga anche previsto nell'Allegato 2

Durata delle operazioni	Caratteristiche del corpo idrico compreso nell'area di influenza			
	A	B	C	D
Poche ore	10	20	30	50
1-2 giorni	5	10	20	30
1-2 settimane	1.5	3	5	10

Tabella 2.5: Valori di concentrazione massima di riferimento per i solidi sospesi totali (g/L), calcolata come media sul periodo di riferimento

che "in alternativa, unitamente al progetto di gestione o al piano operativo potranno essere proposte concentrazioni di riferimento calcolate attraverso elaborazioni specifiche mediante l'utilizzo di metodi scientificamente fondati, sufficientemente sperimentati e documentati".

2.2.2.5 Regione Piemonte

Relativamente alla Regione Piemonte, la normativa vigente è contenuta nel Regolamento Regionale n. 12/R del 9 novembre 2004 recante "Regolamento regionale di attuazione della Legge Regionale 6 ottobre 2003, Nr. 25 (Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale. Abrogazione delle Leggi Regionali 11 aprile 1995, n. 58 e 24 luglio 1996, n. 49)" e nel Regolamento Regionale 29 gennaio 2008 n. 1/R recante "Modifiche ed integrazioni al Regolamento Regionale 9 novembre 2004, n. 12/R, di attuazione della Legge Regionale 6 ottobre 2003, n. 25". Nel dettaglio, l'allegato B bis riporta le modalità e le prescrizioni per le operazioni di svaso, sfangamento e spurgo. In particolare:

- qualsiasi attività che comporti un aumento del trasporto solido del corpo idrico deve essere prevista ed effettuata nel periodo di morbida o piena ordinaria e al di fuori delle fasi riproduttive dell'ittiofauna presente nel corso d'acqua a valle;
- a valle dello sbarramento, deve essere predisposto almeno un punto di monitoraggio sul corso d'acqua recettore, entro distanza adeguata dal punto di rilascio degli organi di scarico, per l'effettuazione delle misure di concentrazione dei solidi sospesi e dell'ossigeno disciolto (Tabella 2.6), da effettuarsi in continuo o per campionamenti discreti ad intervalli regolari. È inoltre richiesto il valore di portata registrato in continuo al punto di scarico;
- a salvaguardia dell'ecosistema fluviale, durante le operazioni in esame la concentrazione di solidi sospesi nel punto monitorato a valle deve rispettare le soglie di durata e concentrazione riportate in Tabella 2.7.

La concentrazione di ossigeno disciolto deve sempre essere superiore a 5 mg/l (pari a circa il 40 % di saturazione). Eventuali superamenti delle soglie succitate dovranno essere immediatamente corretti mediante opportune modulazioni delle portate rilasciate.

Medesimi riferimenti operativi sono assunti normativamente ad esempio anche dalla Regione Abruzzo con Deliberazione della Giunta Regionale Nr. 242 dell'11 aprile 2011, recante

Parametro	Prima	Durante	Entro 3-4 settimane dal termine	7 giorni dopo il termine	4 mesi dopo il termine
Portata Rilasciata		X			
Ossigeno disciolto e solidi sospesi		X		X	
Macrofitos ed eventuali componenti biologiche aggiuntive	X		X		X

Tabella 2.6: *Schema cronologico per il rilevamento dei parametri idrologici, chimico-fisici e biologici nel corso d'acqua recettore dell'invaso a valle dello sbarramento in fase di svolgimento delle operazioni di gestione non ordinaria*

Concentrazione di solidi sospesi	Ossigeno disciolto	Durata massima (in ore) di concentrazione di solidi sospesi
max 40 g/l	> 5 mg/l	<0,5 h
15-20 g/l	> 5 mg/l	<1,5 h
10-15 g/l	>5 mg/l	<3 h
5-10 g/l	> 5 mg/l	<6 h
<5 g/l	>5 mg/l	fino al termine delle operazioni

Tabella 2.7: *Soglie di accettabilità per i solidi sospesi nelle acque rilasciate a valle degli invasi e durata di esposizione da non superare*

"Direttive relative all'approvazione dei progetti di gestione degli invasi ai sensi dell'art. 114 del D. Lgs. 152/2006 e del D.M. 30 giugno 2004".

2.2.3 Esperienze internazionali

2.2.3.1 Linee guida generali

In Tabella 2.8 viene presentato un breve riassunto delle principali direttive e linee guida redatte negli ultimi decenni in Europa e Canada volte a salvaguardare la qualità delle acque dolci in relazione alla protezione ed al miglioramento delle condizioni di vita dei pesci. Nella prima colonna della Tabella 2.8 sono riportati i valori di soglia per le concentrazioni dei solidi sospesi considerati critici, mentre nella colonna di destra è riportata una breve nota illustrativa e descrittiva.

2.2.3.2 Svizzera

In Svizzera non sono ad oggi note Linee Guida o Direttive nazionali che regolano le operazioni di svasso e sfangamento dai grandi bacini idroelettrici. Già nel 1994 l'Ufficio Federale per l'Ambiente, le Foreste ed il Paesaggio (BUWAL) ha emesso una pubblicazione in cui viene dimostrato, a giudizio degli autori, come non sia possibile né tantomeno realistico suggerire delle imposizioni per determinati indicatori (ad es. valori limite sulle concentrazioni solide) o provvedimenti di natura generale, dato che ogni singolo caso presenta una situazione generalmente diversa e condizioni al contorno spesso non paragonabili. Gli autori suggeriscono quindi la necessità di trovare soluzioni specifiche per ogni singolo caso e, comunque, di

European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC, 1964)

<25 mg/l	Nessun effetto evidente per i pesci
25-80 mg/l	Le popolazioni ittiche si mantengono in buono stato, non sono attese grandi perdite
80 – 400 mg/l	Per tali concentrazioni di materiale solido non risulta possibile aspettarsi una buona composizione strutturale delle popolazioni ittiche
> 400 mg/l	Non è possibile la creazione ed il mantenimento duraturo di una buona popolazione ittica

Canadian Council of Resource and Environment Ministers (CCREM, 1987)

<10 mg/l	Soglia valida qualora il livello di fondo della concentrazione solida tipica del corso d'acqua sia inferiore a 100 mg/l
<10% background	Soglia valida qualora il livello di fondo della concentrazione solida tipica del corso d'acqua sia superiore a 100 mg/l

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1999)

Solidi sospesi	
Acqua pulita	Incremento massimo ammissibile di 25 mg/l rispetto al valore di fondo della concentrazione di solidi sospesi (breve periodo, < 24h)
Condizioni di piena	Incremento massimo ammissibile di 25 mg/l rispetto al valore di fondo della concentrazione di solidi sospesi quanto questa è compresa tra 25 e 250 mg/l. Incremento massimo ammissibile del 10% rispetto al valore di fondo della concentrazione di solidi sospesi quando questa è maggiore di 250 mg/l
Torbidità	
Acqua pulita	Massimo incremento ammissibile di 8 NTU rispetto al valore di fondo (breve periodo, < 24 h). Massimo incremento ammissibile di 2 NTU rispetto al valore di fondo (lungo periodo, da 24 h fino a 30 giorni)
Condizioni di piena	Massimo incremento ammissibile di 8 NTU rispetto al valore di fondo se questo è compreso tra 8 e 80 NTU Massimo incremento ammissibile del 10% rispetto al valore di fondo quando questo è maggiore di 80 mg/l

Tabella 2.8: *Riassunto delle principali direttive e linee guida redatte negli ultimi decenni in Europa e Canada*

adottare misure preventive per limitare i danni durante le operazioni di sfangamento.

Successivamente, il 28 ottobre 1998, è stato emesso il Regolamento per la salvaguardia dei corsi d'acqua (Gewässerschutzverordnung, GSchV), in cui al capitolo 7 art. 47 vengono presentate alcune prescrizioni generali per l'esecuzione delle manovre di fluitazione. In particolare, i Gestori devono valutare gli impatti della fluitazione dei sedimenti sulle popolazioni di piante, animali e microorganismi che colonizzano gli alvei di valle, definendo:

- la finestra temporale e la tipologia dello svaso o della fluitazione;
- la concentrazione massima ammissibile di solidi sospesi che deve essere determinata

nel corpo idrico recettore;

- l'entità delle cacciate di risciacquo che deve essere garantita affinché il materiale depositato venga rimosso e trasportato verso valle.

Non vengono date delle indicazioni sulle concentrazioni massime di solidi sospesi che devono essere rispettate a valle. Negli allegati vengono forniti dei valori limite di riferimento in merito ad alcuni indicatori, come la temperatura, il pH e la concentrazione di ossigeno disciolto nelle acque.

Occorre infine precisare che in Svizzera tutte le operazioni di sfangamento e svaso devono essere autorizzate ed approvate a livello cantonale. Regolamentazioni concrete delle operazioni di rimozione del materiale solido dagli invasi esistono da tempo ad esempio nel Cantone dei Grigioni e nel Ticino. Grazie ad un preciso lavoro interdisciplinare in queste realtà locali sono state elaborate delle Direttive la cui applicabilità poi è stata direttamente testata sul campo. Il Cantone dei Grigioni ha emesso nel 1984 un Decreto governativo (Nr. 642/84), mentre il Cantone Ticino ha emesso nel 1987 la Direttiva Nr. 760 che definisce le modalità di realizzazione delle operazioni di svaso e sfangamento degli invasi idroelettrici. Entrambi i riferimenti normativi si focalizzano su obiettivi comuni:

- garanzia della sicurezza per uomini, animali e beni;
- protezione e valorizzazione dell'ambiente, in particolare le zone acquatiche e ripariali in tutte le loro componenti;
- riduzione significativa dei depositi di materiale solido in alveo che possono inficiare la capacità di deflusso in caso di piena, nonché prevenzione contro i possibili fenomeni di erosione profonda o spondale nel tratto di valle dei corsi d'acqua interessati dalle operazioni.

Più recentemente, si può citare ad esempio la Direttiva sugli svassi e sugli sfangamenti dei grandi impianti idroelettrici in vigore nel Canton Vallese, approvata con Determinazione del Consiglio Statale in data 23 ottobre 2002. Tale direttiva ha tra gli obiettivi la tutela e la valorizzazione degli aspetti ambientali (valore ecologico del bacino imbrifero, valore ittico del corso d'acqua, etc.), la sicurezza, la produzione di energia elettrica, l'approvvigionamento per scopi irrigui o turistici e fornisce le procedure per valutare gli effetti di tali operazioni. Non vengono citati valori o soglie limite di parametri quali la concentrazione di solidi sospesi, ma vengono fornite delle buone pratiche da seguire durante le operazioni di cui sopra. Viene ad esempio imposto (Parte II, capitolo 5) di effettuare le operazioni di sfangamento nei periodi di maggiore portata in modo da garantire un elevato effetto di diluizione del materiale solido mobilizzato e diminuire il tasso di deposizione delle particelle più fini. Per quanto concerne i limiti da imporre sulle concentrazioni solide sospese viene citato ad esempio il lavoro svolto da Rofes e altri (1991).

2.2.3.3 Austria

Relativamente alla costellazione normativa austriaca, non risultano ad oggi normative o termine che regolamentino a livello nazionale le operazioni di spurgo e di fluitazione dei

sedimenti dagli invasi idroelettrici. Secondo quanto riferito dai limnologi degli uffici preposti del Governo locale Tirolese, tali operazioni risultano organizzate in modo peritale e variano da caso a caso, anche in funzione del sito interessato dalle operazioni di svaso e dalla quantità di materiale da rimuovere. Oltre alle limitazioni sulla concentrazione di materiale solido da rilasciare negli alvei di valle, vengono considerate anche le caratteristiche chimiche dei sedimenti.

A riferimento vengono presi i valori di soglia proposti in letteratura ad esempio da Newcombe e Jensen (1996). Indicativamente, il valore della concentrazione solida durante le operazioni di sfangamento non dovrebbe mai superare il valore soglia di 3.000 mg/l (corrispondenti a ca. 10 ml/l). Esistono tuttavia dei casi di studio che in Austria rappresentano un riferimento ineluttabile per la gestione delle operazioni di fluitazione dei sedimenti da grandi invasi idroelettrici.

Per quanto concerne lo svuotamento dell'invaso di Bolgennach è stata ad esempio adottata una soglia di 2.500 mg/l nella Bregenzerach da non superare durante le operazioni di rimozione meccanica dei sedimenti. Per quanto riguarda invece lo sfangamento operato presso l'invaso di Vermunt i valori di riferimento sulle concentrazioni solide limite tollerabili sono stati assunti in un range che va da 1.500 a 3.000 mg/l e sono stati monitorati in alcune sezioni di controllo poste lungo l'alveo di valle. Nel disciplinare di gestione dell'impianto sono ad esempio riportati i seguenti punti:

- predisposizione di punti di misura, intervalli temporali e soglie limite sul monitoraggio dei solidi sospesi durante le operazioni di svaso;
- rilevamento di ulteriori parametri chimico-fisici, quali temperatura, pH, ossigeno disciolto e concentrazioni di ammonio;
- protocollo di monitoraggio per le comunità bentoniche secondo la metodologia illustrata nelle Linee Guida del BMLFUW;
- garanzia di una dotazione idrica minima a partire dallo snodo di Partenen;
- operazioni di risciacquo lungo il torrente III dal bacino di compensazione di Rifa con 5 m³/s per 5 ore e progressiva riduzione delle portate nell'ordine di 1 m³/s per ora fino alla dotazione idrica minima prescritta. Sopralluogo necessario lungo i tratti di corsi d'acqua soggetti alla fluitazione per verificare la necessità di una seconda operazione di risciacquo.

Relativamente al bacino idroelettrico intermedio di Rodund le operazioni di sfangamento sono state organizzate in due fasi successive, come ampiamente descritto nei disciplinari di gestione delle operazioni rilasciati al Gestore. Viene altresì prescritto che la restituzione dei sedimenti in alveo deve avvenire unicamente quando nel torrente III viene superata una concentrazione naturale di solidi sospesi pari a 50 mg/l, senza sfiorare un valore massimo quantificato in 3.000 mg/l.

Occorre infine precisare che a più riprese il BUWAL (Schweizerisches Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) ha proposto e indicato alcune misure di gestione strutturali e

costruttive per la corretta gestione del trasporto solido influente nei grandi invasi idroelettrici o a ridosso delle grandi traverse fluviali. Le Direttive suggeriscono in futuro di realizzare appositi canali di bypass per i sedimenti in modo da convogliare verso valle i sedimenti influenti presso gli invasi (Detering e Jokiel, 2017).

2.2.3.4 Germania

Nella Repubblica Federale tedesca la gestione dei sedimenti ed in generale del trasporto solido nei corsi d'acqua è regolamentata dalla Legge Federale sulla Gestione dei Corsi d'Acqua (WHG, aggiornata al 31 luglio 2010). Il management dei sedimenti è parte integrante del testo di legge (ad es. WHG §28) e sono state normate alcune misure di manutenzione e di gestione del trasporto solido e del materiale solido atte a garantire un mantenimento e/o, dove necessario, un miglioramento della qualità eco-morfologica dei corsi d'acqua interessati. La normativa nazionale prima citata è stata successivamente recepita dai diversi Länder tedeschi, che hanno successivamente ufficializzato degli atti pianificatori settoriali validi nei territori di competenza.

In Baviera, ad esempio, è in vigore la Legge sulla Gestione dei Corsi d'Acqua (BayWG) del 25.02.2010, che ha recepito i dettami della normativa nazionale e, tra gli obiettivi, annovera la necessità di garantire uno stato ecomorfologico dei corsi d'acqua sufficientemente elevato per quanto concerne la disponibilità, la transitabilità e l'eventuale stoccaggio di acqua, sedimento fine e grossolano e ghiaccio. A livello federale esistono tuttavia altre direttive, come quella rilasciata dal Ministero Federale per il Traffico, la Costruzione e lo Sviluppo delle Vie d'Acqua ("Grundsätze für die Berücksichtigung ökologischer Belange bei der Unterhaltung der Bundeswasserstraßen") in cui sono contenute specifiche prescrizioni per la gestione del trasporto solido sotto sponda nei grandi corsi d'acqua navigabili. Per quanto concerne specificatamente le operazioni di gestione del materiale solido nei corsi d'acqua, sono in vigore anche le regolamentazioni imposte dal DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall), note come Merkblatt DWA-M 5252 recanti "Sedimentmanagement in Fließgewässern - Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele". In particolare nel Cap. 5.3.3.3 viene affrontato il problema delle fluitazioni e degli sfangamenti, anche se le indicazioni sono di carattere assolutamente generale. Nella pratica infatti tali operazioni vengono opportunamente tarate e calibrate sulle caratteristiche dei corsi d'acqua ricettori, al fine di non alterarne drasticamente le caratteristiche e cercando sinergie con le dinamiche naturali degli stessi.

Ad esempio, le operazioni di fluitazioni presso la traversa fluviale a servizio dell'impianto idroelettrico KW Bad Tölz lungo il Fiume Isar sono gestite in modo da garantire la continuità del continuum fluviale. Gli sfangamenti e le aperture delle paratoie a servizio dell'opera di sbarramento sono possibili solamente durante gli eventi di piena del torrente, a partire da una portata di piena minima pari a 220 – 480 m³/s a seconda della tipologia di fenomeno e delle caratteristiche stagionali del corso d'acqua. Più in generale, per tali operazioni è sempre prestata particolare attenzione ed in caso di evidente deficit di materiale solido nei tratti derivati a valle delle opere di presa è sempre consigliato lo stoccaggio di determinate quantità di materiale solido (generalmente ghiaioso) in alveo.

Non esistono tuttavia prescrizioni generali relative ai limiti di concentrazione solida che devo-

no essere rispettati durante le operazioni di fluitazione o sfangamento, e tutte le indicazioni pratiche fanno riferimento esclusivamente a generici approcci di letteratura.

2.2.4 Conclusioni

Alla luce delle ricerche e delle analisi effettuate, si nota come a livello internazionale non esistano indicazioni univoche relative alle concentrazioni di materiale solido ammissibili e tollerabili durante le operazioni di fluitazione e svaso dei serbatoi e delle traverse idroelettriche. Si nota altresì come anche restringendo il campo ai soli Paesi Alpini (Italia, Austria, Svizzera, Germania ad esempio) esista una netta divergenza di approcci, di valori indicativi e di limiti di legge da rispettare durante tali interventi. Un'azione di coordinamento e di uniformazione dei valori di legge e delle buone pratiche di gestione di tali operazioni risulta pertanto fondamentale e necessaria, al fine di garantire, quanto meno nell'arco Alpino, una certa uniformità di gestione, per di più in virtù del fatto che alcuni dei corsi d'acqua di dimensioni maggiori hanno carattere prettamente transnazionale (ad es. Inn, Danubio, Ticino, Reno, Drava) e dovrebbero essere gestiti secondo approcci teorici e metodologie pratiche simili ed ugualmente fondati.

3 Gestione sostenibile dei sedimenti

L'importanza dei sedimenti e la loro influenza sui serbatoi e le aree a valle degli sbarramenti è a volte un tema poco conosciuto ai Gestori dei bacini, o trattato senza la giusta attenzione. Di qui la necessità di riportare in questo documento le diverse strategie potenzialmente applicabili per una gestione sostenibile dei sedimenti e l'importanza di stabilire politiche e standard di progettazione per la pianificazione e la gestione sostenibile dei bacini idrici di accumulo.

Esiste un'ampia gamma di tecniche di gestione dei sedimenti per preservare la capacità del serbatoio e permettere il trasporto a valle, molte delle quali rappresentano un modo per raggiungere gli obiettivi prefissati dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE, 2000). È possibile distinguere tra due grandi categorie:

- metodi per minimizzare l'interrimento deviando i sedimenti attraverso o attorno il serbatoio;
- metodi per aumentare o recuperare il volume all'interno del serbatoio attraverso la rimozione del sedimento.

Una sintesi delle strategie applicabili che verranno illustrate in dettaglio nei capitoli successivi è rappresentata in Figura 3.1.

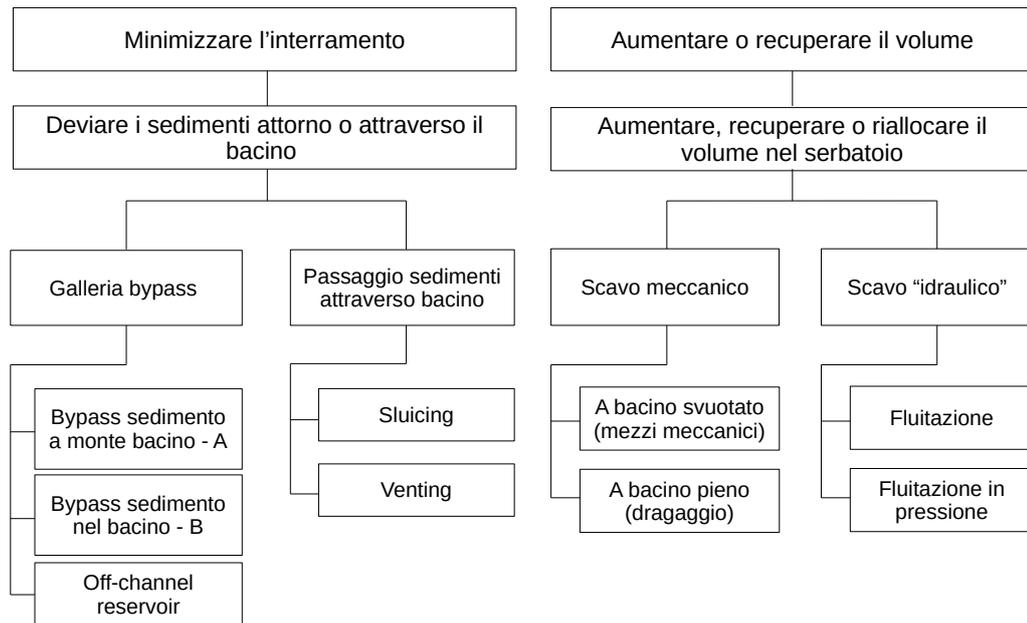


Figura 3.1: *Classificazione delle strategie di gestione sostenibile del sedimento (adattato da Kondolf e altri, 2014)*

3.1 Minimizzazione dei depositi di sedimenti

L'adozione di queste strategie ha l'obiettivo di favorire il deflusso dei sedimenti a valle della diga utilizzando apposite strutture (es. bypass) o sfruttando le condizioni naturalmente presenti, attraverso un'onda di piena, per operare le manovre di apertura degli scarichi di fondo o di superficie e consentire il rilascio di acqua carica di sedimento.

3.1.1 Galleria di bypass dei sedimenti

Le gallerie di bypass dei sedimenti servono per ridurre l'interrimento dei bacini artificiali e per conservare o ripristinare la continuità dei corsi d'acqua, in particolare per il trasporto dei sedimenti (Facchini e altri, 2017). La strategia di deviare i sedimenti tramite l'utilizzo di un bypass è ampiamente utilizzata in Svizzera (10 bypass) e Giappone (3 bypass) e grazie all'elevata efficienza, tale gestione è stata adottata anche in altri stati, quali Taiwan, Pakistan e Francia (Auel, 2018).

Le gallerie di bypass dei sedimenti prevedono un'opera di presa che viene progettata con l'obiettivo di raccogliere, a monte dello sbarramento, l'acqua carica di sedimenti e successivamente rilasciarla a valle (Figura 3.2). Questo sistema entra in funzione (attraverso l'apertura di una paratoia) quando il trasporto di materiale è elevato, quindi più volte nel corso dell'an-

no durante eventi di piena, di morbida e di scioglimento nivale e termina la sua azione (con la chiusura della paratoia) non appena la concentrazione di sedimento si riduce e riprende l'accumulo di acqua (clean water) all'interno del serbatoio. Per deviare l'acqua all'interno del bypass è necessaria una struttura di diversione (diversion weir) che convoglia il flusso verso l'ingresso del bypass dove le paratoie sono opportunamente aperte. Solitamente, la struttura di diversione presenta quote leggermente inferiori in prossimità dell'opera di presa, cosicché l'acqua possa parzialmente fluire verso il serbatoio in caso di portate maggiori della capacità massima di progetto del bypass (Auel e Boes, 2010). Inoltre, in alcuni casi, come per la Miwa Dam in Giappone, sono presenti all'interno del serbatoio delle griglie verticali per trattenere legname e ramaglie impedendone l'ingresso nel bypass (Kantoush e altri, 2011). In altri casi, i detriti grossolani possono venire intercettati prima che il corso d'acqua si immetta nel bacino grazie a briglie di trattenuta, come nel caso della Koshibu Dam in Giappone (Auel, 2018).

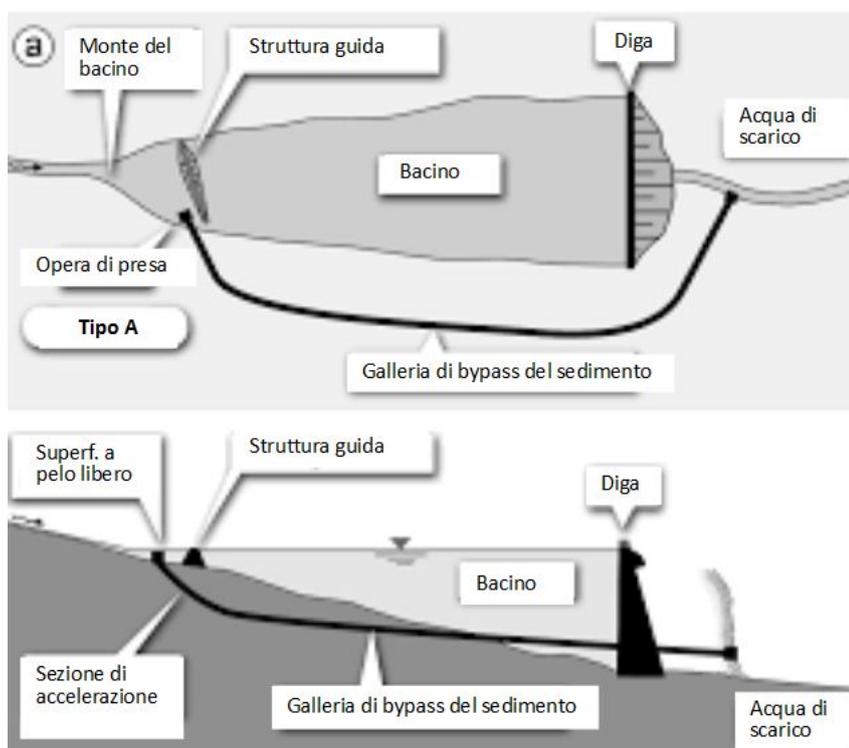


Figura 3.2: Schematizzazione della galleria di bypass del sedimento - Tipo A (adattato da Auel, 2018)

Il dimensionamento della galleria di bypass viene condotto sulla base della capacità di deflusso che si vuole raggiungere: solitamente, si basa sulla portata di eventi con tempi di ritorno che oscillano tra 1 e 25 anni, anche se i bypass più recenti sono stati progettati per contenere eventi di ricorrenza eccezionale, facendone aumentare però i costi di costruzione. Oltre al diametro, un altro fattore che influenza significativamente la fattibilità economica del progetto riguarda la lunghezza del bypass. In letteratura, questa varia da 300 a 3.000



Figura 3.3: Esempio di effetto di abrasione (tratto da Auel, 2014)

metri (Auel, 2018) anche se non si escludono bypass di lunghezze inferiori o superiori. Per funzionare correttamente la galleria necessita di una certa pendenza iniziale (pendenza di imbocco) che può variare da 1,3% a 4%, dove, pendenze elevate sono sinonimo di maggiore probabilità di riscontrare abrasione nel bypass, il che comporta alti costi di manutenzione (vedi Figura 3.3). A seconda poi delle pendenze disponibili varia il posizionamento dell'opera di presa (intake location). Questa infatti può trovarsi sia in testa al bacino (vedi Figura 3.2) che a metà o in prossimità della diga (vedi Figura 3.4). Nel primo caso (tipo A), la base del bypass si trova alla stessa quota della superficie del bacino e le manovre di gestione sono generalmente semplici; i sedimenti vengono immediatamente convogliati all'interno della galleria e il livello della superficie libera non influenza le performance dell'operazione. L'adozione di questa strategia vede tra i maggiori svantaggi i costi elevati e la possibilità di non avere una pendenza iniziale sempre adeguata. Nel secondo caso (tipo B), in cui l'ingresso del bypass si trova a metà del serbatoio o in prossimità della diga, la quota della galleria dovrà essere inferiore alla base del bacino per garantire una pendenza sufficiente al deflusso, quindi l'opera di presa è sommersa e dal punto di vista idraulico predomina il deflusso in pressione. Qui le operazioni risultano più laboriose, in quanto è necessario abbassare il livello del bacino con un certo anticipo: questa tipologia di opere è quindi adatta ai serbatoi a regolazione giornaliera o settimanale e non si presta per quelli a regolazione stagionale; tuttavia, questa soluzione viene a volte privilegiata data la riduzione dei costi legata ad una lunghezza minore della galleria. Lo scarico nel lato di valle non deve essere localizzato in prossimità della diga in quanto è opportuno evitare l'accumulo di sedimento nelle immediate vicinanze dello sbarramento.

L'utilizzo del bypass di sedimenti è efficace per serbatoi con dimensioni da medie a piccole ($<10^7$ m³) poiché maggiore è la grandezza del serbatoio, più lungo e costoso sarà il bypass

(Auel e altri, 2016). Anche l'orografia della valle gioca un ruolo fondamentale: per esempio, una forma curvilinea del bacino riduce la lunghezza del bypass e ne favorisce la costruzione rispetto a un bacino più ampio.

Durante la progettazione del bypass è opportuno studiare la litologia del bacino drenante e caratterizzarne la geologia. Nel caso si attesti la presenza di elevati volumi solidi potenzialmente mobilizzabili, è necessario progettare la galleria di bypass integrando un design anti-abrasione di protezione della superficie del fondo della galleria, per ridurre al minimo i costi operativi di manutenzione a lungo termine.

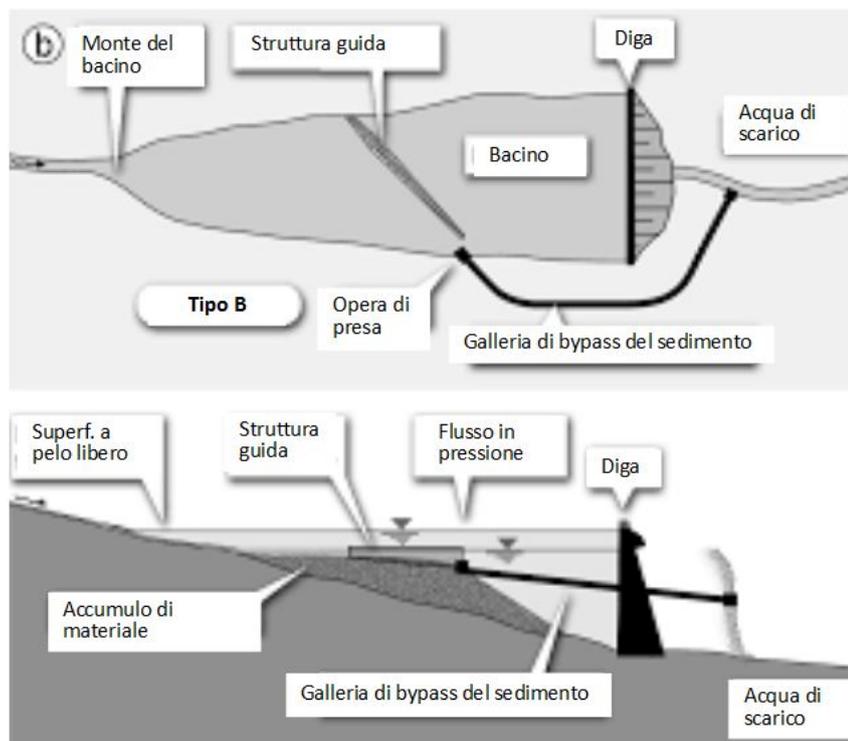


Figura 3.4: Schematizzazione della galleria di bypass del sedimento - Tipo B (adattato da Auel, 2018)

Gli effetti ecologici legati al trasporto di sedimento a valle della diga durante eventi di piena sono fonte di elevato stress per la popolazione ittica e per il macrobenthos a causa dell'eccessiva torbidità dell'acqua. Tuttavia, questo disturbo è un tipo di stress che l'ecosistema fluviale è solito sperimentare, ed anzi è necessario per assicurare il continuum del trasporto di sedimenti e per ridurre l'erosione del corso d'acqua, apportando quindi un miglioramento dello stato morfologico del fiume. Auel e altri (2016) hanno studiato l'evoluzione del corso d'acqua a monte e a valle di quattro impianti di accumulazione con gallerie di bypass, basandosi su indicatori ecologici e morfologici. Con l'entrata in funzione della galleria di bypass, le condizioni che si creano a valle sono simili a quelle presenti prima della costruzione del serbatoio, nonché paragonabili a quelle a monte del bacino di accumulo (Facchini e altri, 2017). Dagli studi condotti si evince come questa strategia di gestione del sedimento sia

vincente, con un'efficienza nel deviare i sedimenti compresa tra il 77 e 94% (studio relativo a Asahi and Nunobiki Dam in Giappone (Auel, 2018), e valida quindi per aumentare la vita utile del serbatoio e migliorare lo stato eco-morfologico del corso d'acqua a valle della diga.

3.1.2 Serbatoi fuori alveo (off-channel reservoir)

Un approccio alternativo alla galleria di bypass viene utilizzato negli impianti idroelettrici ad acqua fluente, dove la portata naturale (disponibile) di un corso d'acqua viene prelevata e fatta confluire in un bacino di carico (vedi Figura 3.5). Prima di essere turbinato, il flusso entra in un dissabbiatore che, se opportunamente dimensionato, permette il deposito della maggior parte del sedimento fine. Successivamente l'acqua derivata, tramite un sistema di condotte, raggiunge la centrale idroelettrica. Infine, viene rilasciata attraverso un canale di scarico e reimpressa nell'alveo.

Questa strategia risulta favorevole per corsi d'acqua con portate consistenti anche nei periodi di magra, mentre non si applica a bacini a regime intermittente, in quanto la portata derivata dipende dalla portata naturale disponibile oltre che dalla capacità del canale di derivazione, generalmente dimensionata sulla portata media annua.

In prossimità dell'opera di presa è presente una griglia che trattiene i clasti di grandi dimensioni, mentre i sedimenti con diametro maggiore a 0,15 mm vengono rimossi dai dissabbiatori prima di entrare nel serbatoio di regolazione, e i sedimenti più fini, intrappolati nella vasca, dovranno essere scavati dopo diversi anni. Nel caso di eventi ad elevata torbidità, l'acqua non viene prelevata, in quanto carica di sedimento. In questo modo, è possibile escludere il 90 - 95% del carico di sedimenti, allungando la vita utile del bacino di carico di un fattore maggiore di 10 rispetto ai serbatoi degli impianti idroelettrici a bacino.



Figura 3.5: La rappresentazione a sinistra schematizza il funzionamento dei serbatoi fuori alveo dove l'acqua viene prelevata dal fiume e derivata verso un bacino di carico. L'immagine a destra mostra il bacino di carico di Valdurna (Sarentino, Alto Adige)

3.1.3 Trasporto ed evacuazione in corrente fluida (sluicing)

La strategia dello sluicing comporta lo scarico di considerevoli flussi attraverso la diga durante i periodi di elevato afflusso al serbatoio, con l'obiettivo di trasportare i sedimenti attraverso

il bacino il più rapidamente possibile, riducendo al minimo l'interrimento (Figura 3.6). A differenza della fluitazione (o flushing) che ha come scopo quello di erodere, risospendere e far defluire a valle i sedimenti accumulati nel bacino nel corso degli anni, lo sluicing si prefigge di prevenire l'interrimento mediante la generazione di una corrente superficiale che defluisce attraverso gli scarichi di superficie sul coronamento della diga. Durante l'operazione è inevitabile che parte del materiale già accumulato venga inglobato e trasportato a valle. Le manovre di gestione prevedono l'abbassamento preventivo del livello del bacino prima dell'arrivo del picco della piena tramite l'apertura degli scarichi di fondo o degli scarichi intermedi.

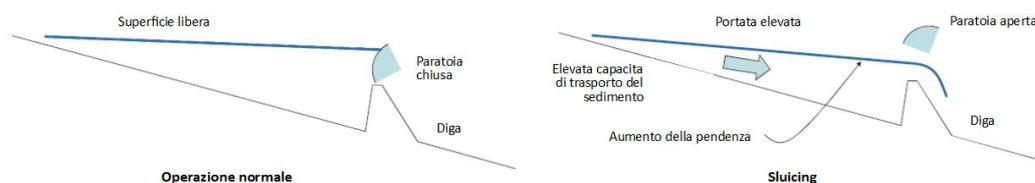


Figura 3.6: *Rappresentazione schematica dell'operazione di sluicing (adattato da Kondolf e altri, 2014)*

Lo sluicing può essere utilizzato in tutti i tipi di bacino, la durata dell'operazione varia a seconda della grandezza del bacino idrografico e del tempo di ritorno dell'evento di piena. Per esempio, nel caso in cui il bacino idrografico sia di dimensioni ridotte e la piena avvenga molto rapidamente, lo svuotamento del serbatoio ha una durata dell'ordine delle ore. In altri casi, quando il serbatoio è regolato giornalmente, il livello del lago viene mantenuto a quote inferiori nei periodi in cui sono attesi eventi di piena frequenti in modo da massimizzare il trasporto di sedimenti e continuare a turbinare utilizzando i dissabbiatori per prevenire l'abrasione delle macchine idrauliche causata dalla movimentazione del sedimento.

In generale, l'interrimento viene minimizzato riducendo il tempo in cui l'acqua ad alta concentrazione di sedimento risiede all'interno del serbatoio. Variando la modalità di gestione del bacino, specialmente prima del picco della piena, è possibile ridurre l'interrimento dei sedimenti ad un costo operativo ridotto rispetto ad operazioni di rimozione meccanica. Lo sluicing è più efficace in serbatoi lunghi e stretti (ad esempio è applicato nel serbatoio Three Gorge Reservoir in Cina, che ha una lunghezza di 600 km ed una larghezza non superiore a 1,5 km), ma benefici possono essere ottenuti anche in serbatoi con altre configurazioni.

In particolare, oltre al vantaggio di ridurre considerevolmente la deposizione di sedimenti all'interno del serbatoio, specialmente quelli fino a $2/3$ del volume (Kondolf e altri, 2014), lo sluicing trasporta il sedimento verso valle durante periodi di elevato deflusso, così come dovrebbe succedere in assenza di un'opera di sbarramento, con evidenti benefici dal punto di vista ecologico. Se da un lato lo sluicing riduce l'interrimento, dall'altro può causare l'accumulo di materiale a valle degli scarichi, da qui la necessità di disporre di quantità elevate di acqua in ingresso al bacino per ovviare al problema.

3.1.4 Scarico di correnti di densità (venting)

Un fenomeno di grande importanza nei processi di sedimentazione ed interrimento dei serbatoi artificiali è la presenza di correnti di torbidità o di densità (venting) che si verificano in occasione dei fenomeni di piena. Il venting, a causa dell'alta concentrazione di materiale solido in sospensione, dà origine a flussi di natura stratificata più densi sul fondo del bacino. All'interno della massa liquida contenuta nel serbatoio si possono individuare due fasi, una fase fluida superiore avente una densità minore, ed una fase fluida inferiore a contatto con il fondo del serbatoio a densità maggiore (ITCOLD, 2012).

I sedimenti trasportati da tali correnti di densità possono essere scaricati dal bacino attraverso gli scarichi di fondo, come mostrato in Figura 3.7. L'efficienza degli scarichi di fondo dipende da:

- la quantità di acqua scaricata e il livello del lago durante le operazioni di scarico;
- l'altezza della corrente di densità rispetto al fondo e alla capacità degli scarichi;
- il tempo di apertura e chiusura degli scarichi.

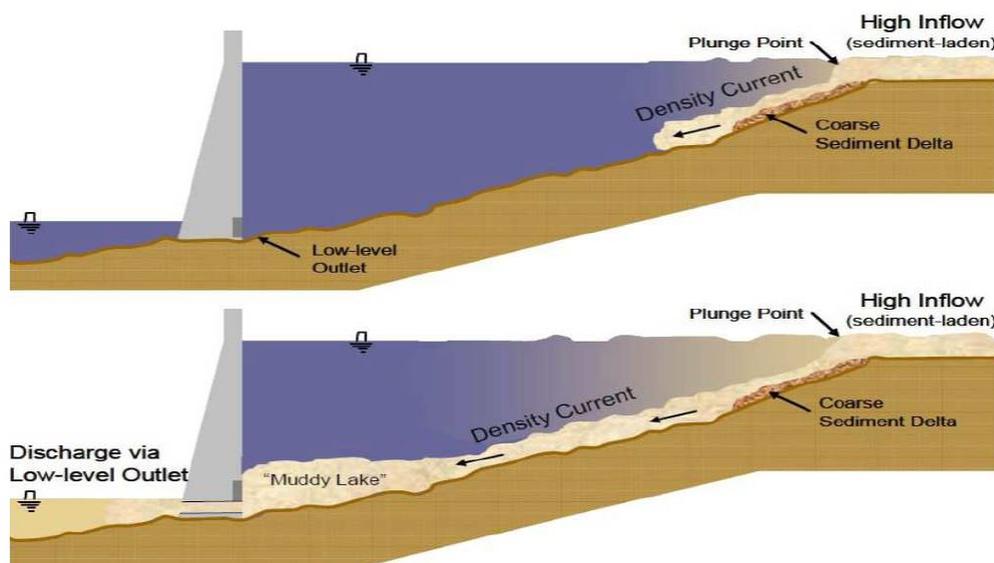


Figura 3.7: *Rappresentazione schematica dell'operazione di venting*

Condizioni favorevoli per una buona efficienza del venting sono dettate dalle caratteristiche fisiche del bacino - per esempio, nel caso di bacini corti, stretti e con pendenze elevate - ma anche dalle caratteristiche idrologiche dell'evento, idealmente caratterizzato da flusso in ingresso consistente, picchi elevati di portata ed alta concentrazione di sedimento fine (limo e argilla).

A differenza dello sluicing, affinché il venting sia efficace è necessario che il livello idrico nel serbatoio sia abbastanza elevato. Ciò comporta un minore spreco della risorsa idrica

e la possibilità di applicare questa procedura anche ai grandi invasi. Il venting può ridurre la deposizione di sedimenti nei bacini con percentuali dal 20 all'80%. Per contro, però, l'operazione non è tecnicamente banale e richiede una buona abilità di gestione (Kondolf e altri, 2014). Nonostante la presenza di una elevata quantità d'acqua nel bacino non è detto che la corrente di densità si formi e che abbia l'energia per giungere fino allo scarico di fondo. In generale, in fase di progettazione è difficile prevedere con un alto grado di affidabilità il comportamento della corrente di densità, soprattutto se consideriamo che un costante, seppur leggero, interrimento è sempre presente, con conseguente diminuzione nel tempo delle pendenze, delle velocità e della capacità di trasporto.

3.1.5 Intercettazione del sedimento in aree di laminazione

L'utilizzo di aree agricole come aree di laminazione prevede la deviazione dell'acqua carica di sedimento all'interno delle stesse allo scopo di aumentarne la fertilità del suolo.

3.2 Aumento o recupero del volume

3.2.1 Fluitazione (Flushing)

A differenza dello sluicing, il cui obiettivo è quello di intercettare i sedimenti prima che si depositino, la strategia della fluitazione ha come obiettivo quello di mobilizzare e trasportare a valle della diga i sedimenti depositati all'interno del bacino nel corso del tempo (Figura 3.8). L'operazione richiede un livello dell'invaso sufficientemente basso in modo che l'erosione indotta sul fondo non sia limitata alla sola zona antistante lo scarico, ma si propaghi verso monte creando un alveo inciso (ITCOLD, 2012). L'erosione è dettata dall'apertura degli scarichi di fondo attraverso i quali fluisce una portata pari ad almeno il doppio della portata media annua del fiume (misurata a valle della diga). Inoltre, a valle dello sbarramento viene effettuato anche il monitoraggio della torbidità dell'acqua rilasciata, la quale non deve superare i limiti di legge. La fluitazione solitamente rimuove il sedimento più fine, in quanto facilmente mobilizzabile, mentre per la rimozione della componente più grossolana è necessario intervenire meccanicamente. Affinchè la fluitazione sia efficace, il rapporto tra il volume del bacino e il deflusso medio annuo non deve essere superiore al 4%. Con volumi troppo elevati infatti il livello dell'invaso non raggiungerebbe la quota minima per consentire il deflusso ottimale tramite gli scarichi di fondo.

Se la fluitazione avviene al di fuori dei periodici eventi di piena o di elevato trasporto solido, il rilascio di grandi quantitativi di acqua carica di sedimento in periodi in cui naturalmente non succederebbe potrebbe avere gravi effetti sull'ecologia e l'idromorfologia del corso d'acqua a valle dello sbarramento, come il riempimento delle pozze o dei riffles (raschi), originariamente costituiti da ciottoli, con grandi quantitativi di limo e argilla (clogging); ne consegue una drastica perdita di habitat per la fauna acquatica.

Perciò si raccomanda di eseguire la fluitazione quando naturalmente sono previste portate elevate (per esempio durante il periodo di scioglimento delle nevi). Inoltre, l'esecuzione frequente di fluitazioni, per esempio con cadenza annuale, potrebbe ridurre gli impatti am-

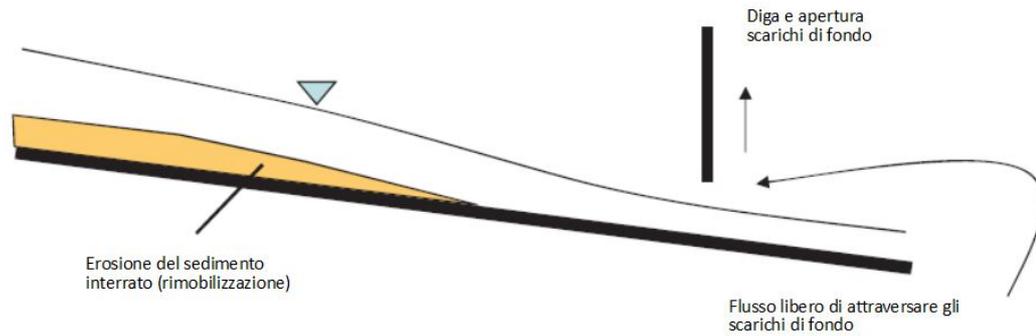


Figura 3.8: *Rappresentazione schematica dell'operazione di fluitazione (adattato da Kondolf e altri, 2014)*

bientali a valle, in quanto le concentrazioni scaricate sarebbero ridotte e, al contempo, il tratto verrebbe ricaricato del sedimento mancante con regolarità, riducendo o eliminando così il problema legato al consolidamento del materiale fine (clogging), molto spesso di difficile rimozione. Come regola generale, si raccomanda di non operare la fluitazione tramite le opere di presa che conducono alle turbine poiché i sedimenti fini, la sabbia in particolare, causano gravi danni di abrasione alle turbine. L'apertura degli scarichi di fondo dovrebbe avvenire in ogni caso in maniera graduale e durante le stagioni appropriate.

Infine, è sempre opportuno rilasciare una certa quantità di acqua pulita (a bassa torbidità) a termine di ogni fluitazione per "pulire" l'alveo tramite un'ulteriore e finale mobilitazione e trasporto del sedimento verso valle.

Si raccomanda inoltre, per la gestione di bacini a regime stagionale, di combinare le strategie di fluitazione e sluicing, abbassando il volume prima dell'inizio della stagione delle piogge e consentendo il deflusso con elevato trasporto di sedimento a bacino vuoto.

Nel caso in cui siamo presenti più impianti sul medesimo corso d'acqua, si ritiene opportuno implementare una gestione collettiva che prevede lo svolgimento congiunto delle operazioni di fluitazione nei diversi bacini, attraverso la coordinazione dell'apertura delle paratoie da monte verso valle.

3.2.2 Fluitazione in pressione

Questa operazione nasce come variante della fluitazione, quindi al posto di abbassare il livello d'invaso ed erodere il sedimento accumulato nel bacino, la fluitazione in pressione ha come scopo la rimozione del materiale antistante la diga, così da assicurare il corretto funzionamento delle opere di scarico ed evitare l'abrasione delle strutture idrauliche. Il livello del serbatoio non viene abbassato, ma l'apertura degli scarichi di fondo consente la fuoriuscita del flusso che va a formare un'area di erosione a forma di cono appena a monte dello scarico. Questa tecnica non è efficace per ridurre l'interrimento del bacino e recuperare volume utile, tuttavia è utile per evitare il deterioramento dell'impianto idroelettrico e per mantenere la funzionalità degli organi di scarico.

3.2.3 Scavo con mezzi meccanici

Lo scavo di sedimenti depositati può costituire una soluzione tecnica alternativa a fronte di un fermo impianto e di ingenti costi. Questa operazione, che richiede il parziale o totale svuotamento del serbatoio, si presta a bacini che naturalmente presentano bassi livelli in determinati periodi dell'anno. L'applicazione di questa metodologia può essere distinta in tre fasi: lo scavo dei materiali, il loro trasporto ed infine il loro smaltimento in un luogo appropriato o, in taluni casi il loro riutilizzo all'interno del bacino stesso, come materiale di ripristino di zone poste al di sopra del livello massimo dell'acqua. I metodi meccanici sono maggiormente adatti per materiali grossolani, quali sabbia e ghiaia, che vengono talora scavati dalla porzione iniziale del bacino mediante macchinari operati da terra. Le operazioni di scavo meccanico vengono generalmente eseguite tramite benne a catena, tramogge a ruota, pale meccaniche, draghe a badilone o draghe a cucchiaia rovescia, pompe a fango rotative o alternative. Per la sua flessibilità d'impiego viene suggerito l'utilizzo dell'escavatore a cucchiaia rovescia (ITCOLD, 2012).

3.2.4 Dragaggio

Il dragaggio consiste nell'esportazione del sedimento tramite l'utilizzo di una pompa idraulica. Data l'onerosità di tale operazione, essa viene solitamente applicata in siti specifici, per esempio per eliminare il carico di sedimento in prossimità delle opere di presa. Inoltre, viene normalmente applicata in bacini di lunghezza non superiore a 3 km e localizzati a quote non troppo elevate, così da avere una maggiore pressione atmosferica che facilita le operazioni di sifonamento.

3.2.5 Dragaggio con immissione in derivazione

Questa variante del dragaggio consiste nel prelievo di sedimento dal fondo del serbatoio e nella sua immissione nell'opera di presa. In questo modo non è necessario costruire bacini di decantazione e il successivo smaltimento del materiale dragato. L'immissione di sedimento fine nella galleria di derivazione, nella condotta forzata e infine nelle turbine deve essere valutato per ogni singolo caso, considerando almeno i seguenti aspetti:

- deposizione del sedimento nelle gallerie di derivazione nei torrini piezometrici: bisogna evitare che si possano verificare delle zone di deposito di sedimento lungo i canali, le gallerie di derivazione e i torrini piezometrici;
- fenomeni di abrasione in condotta forzata;
- fenomeni di abrasione sulle parti mobili e fisse delle turbine: sebbene generalmente si immetta in derivazione solamente sedimento molto fine, questo comporta una maggiore usura delle parti delle turbine esposte direttamente al flusso. Generalmente le turbine Pelton sono più sensibili a questa problematica, quelle Kaplan o a elica meno. La possibilità di dover sostituire più frequentemente le turbine deve essere presa in considerazione nella stima dei costi necessari per queste operazioni.

3.3 Raccomandazioni

La sostenibilità prevede l'utilizzo e il consumo di risorse in equilibrio con la loro rigenerazione, in modo tale da restituire il bacino a fine concessione con lo stesso volume originale. Sulla base di questo principio vengono di seguito riportate alcune raccomandazioni da tenere in considerazione durante la progettazione di nuovi bacini o per l'adattamento di quelli esistenti.

1. In fase di progettazione è opportuno considerare il problema dell'interrimento, quantificando il carico del sedimento proveniente da monte e stimando il tasso di interrimento annuo del bacino. È necessario presentare il progetto che descrive il piano di gestione del sedimento. La prevenzione del problema legato alla gestione del sedimento riduce i costi di gestione, rispetto all'adattare opere già esistenti.
2. La pianificazione deve considerare ampie scale temporali e spaziali. Nonostante la durata di una concessione sia di una trentina di anni, la scala temporale con cui è necessario considerare la pianificazione della gestione del sedimento deve essere dell'ordine di 300 anni o più per catturare l'effetto degli impatti a lungo termine. La scala spaziale va estesa oltre la grandezza del serbatoio: al bacino idrografico sotteso, verso monte e lungo tutto il corso del torrente a valle per una lunghezza definita dagli effetti delle alterazioni causate dalle operazioni di fluitazione o simili. Il bacino idrografico a monte dovrebbe essere analizzato per capire la disponibilità di sedimento mobilizzabile, così come dall'idrogramma è possibile identificare i periodi di trasporto elevato. L'analisi della parte a valle include la valutazione dello stato eco-morfologico del corso d'acqua fino alla sua foce/zona costiera. Questo studio si basa sulla sinergia, collaborazione e messa a disposizione dei dati di diverse entità dal momento che un fiume, dalla sorgente alla foce, attraversa territori distinti.
3. Normalmente l'analisi costi-benefici copre un intervallo temporale di 50 anni, all'interno del quale i danni dell'interrimento non vengono tenuti in considerazione. Per un'analisi più corretta e realistica è quindi opportuno basarsi sulla scala temporale descritta al punto 2.
4. È fondamentale valutare il tipo di sedimento che si può depositare in quanto prevede l'applicazione di strategie diverse. Per esempio, la ghiaia viene intrappolata all'interno del bacino al 100%, implicandone la carenza nel tratto a valle e normalmente è di difficile riallocazione attraverso operazioni di sluicing o fluitazione (ad eccezione di serbatoi di piccole dimensioni). Queste operazioni infatti sono più efficaci per il trasporto del sedimento fino, il quale rappresenta una percentuale consistente del sedimento totale accumulato.
5. Valutare con cura la giusta ubicazione del serbatoio. Il problema dell'interrimento può essere minimizzato privilegiando i corsi d'acqua con basso trasporto (per esempio in aree poco erodibili e nella parte alta di un bacino idrografico) e un'orografia che incoraggia il trasporto del sedimento (per esempio gole scoscese al posto di ampie

valli con basse pendenze). A parità di produzione di energia idroelettrica, è opportuno localizzare gli sbarramenti sul minor numero di corsi d'acqua possibili, in modo da mantenere più torrenti allo stato naturale e minimizzare così l'impatto.

6. Studiare l'equilibrio dinamico dei sedimenti prima di procedere con la progettazione di un nuovo impianto idroelettrico. Il dimensionamento e dislocamento delle opere idrauliche deve essere conforme all'evoluzione del bacino nel lungo termine, deve quindi considerare il tasso di interrimento, l'idrologia ed eventualmente possibili scenari futuri (cambiamento climatico). In generale le paratoie devono trovarsi nella parte inferiore della diga ed avere una capacità idraulica sufficiente per stabilire il profilo di equilibrio desiderato e sostenere il tipo di operazione di gestione dei sedimenti scelto. Per esempio, se un bacino si presta per le operazioni di fluitazione durante il periodo di magra, gli scarichi di fondo devono essere relativamente piccoli e posizionati nella parte inferiore della diga, mentre le paratoie per l'operazione di sluicing devono essere progettate con una maggiore capacità idraulica e dislocate in un tratto superiore della diga rispetto a quanto definito per l'operazione di fluitazione. In molte situazioni, una serie di grandi aperture radiali (large radial gates) posizionate alla base della diga può rappresentare la soluzione migliore. La necessità di una galleria di bypass o di ulteriori scarichi di fondo può manifestarsi anni dopo la conclusione dei lavori. Per questo si consiglia di studiare attentamente la progettazione dell'impianto e di pensare alla realizzazione di tali strutture in maniera preventiva. Anche il posizionamento delle opere di presa deve tenere in considerazione le dinamiche a lungo termine che si sviluppano all'interno del bacino e la capacità di erodere ed eliminare il sedimento presente in prossimità del loro ingresso così da prevenire l'ostruzione o il deterioramento delle strutture.
7. Operare in un contesto più ampio, in cui viene presa in considerazione la gestione sostenibile di una serie di dighe (impianti a cascata) le cui operazioni di smaltimento del sedimento avvengono in sinergia, anche quando oltrepassati i confini. La mancanza di cooperazione risulta in conflitti ed esiti scadenti. Quindi nell'ambito della progettazione è fondamentale la ricerca di sinergie, un'appropriata coordinazione ed un efficiente scambio di informazioni tra le parti coinvolte; sia i dati storici che quelli attuali possono aiutare a migliorare l'efficienza delle operazioni e a ricercare soluzioni vincenti per la gestione del sedimento. La disponibilità di dati idrologici e di trasporto solido accurati e di ampia scala temporale è essenziale ai fini della progettazione e dell'analisi degli impatti. Questo dovrebbe includere, per esempio, indagini sulla sedimentazione dei serbatoi, il campionamento dei solidi sospesi e il monitoraggio delle portate a valle, le quali potrebbero essere influenzate dalla carenza di sedimenti o da elevata turbidità (durante le fluitazioni).

3.4 Evoluzione della normativa attuale

Sulla base dell'articolo 114, comma 2, del D. Lgs. 152/2006 con particolare riferimento alle dighe: "Al fine di assicurare il mantenimento della capacità di invaso e la salvaguardia sia della qualità dell'acqua invasata sia del corpo ricettore, le operazioni di svaso, sghiaimento e sfangamento delle dighe sono effettuate sulla base di un progetto di gestione di ciascun invaso. Il progetto di gestione è finalizzato a definire sia il quadro previsionale di dette operazioni connesse con le attività di manutenzione da eseguire sull'impianto, sia le misure di prevenzione e tutela del corpo ricettore, dell'ecosistema acquatico, delle attività di pesca e delle risorse idriche invasate e rilasciate a valle dell'invaso durante le operazioni stesse."

È chiaro come questa normativa si applichi agli invasi di competenza statale ovvero le grandi dighe; sarebbe auspicabile che il Piano di gestione venisse applicato a tutti gli invasi realizzati da dighe, sbarramenti e traverse, con l'obiettivo di raggiungere il buono stato biologico, chimico-fisico e idromorfologico dettato dalla DQA. Attualmente per tutte le altre tipologie di invaso, la decisione di gestione spetta alla regione o alla provincia di competenza.

Il Piano di monitoraggio previsto nel progetto di gestione dovrebbe approfondire lo stato idro-morfologico ed ecologico del bacino idrografico sia pre- che post- eventuali variazioni antropiche, che durante le manovre di rimozione del sedimento all'interno dei serbatoi. È inoltre opportuno implementare misure di mitigazione degli impatti delle operazioni eseguite e assicurare un costante aggiornamento del Piano di Gestione.

Nel dettaglio, l'esecuzione del monitoraggio durante le operazioni di svaso o fluitazione prevede una fase di pre-elaborazione dei dati disponibili per definire lo stato "naturale" del bacino idrografico studiato, il quale viene identificato dal tipo di regime delle concentrazioni solide e relativi valori registrati durante eventi di piena.

Il regime delle concentrazioni solide di un corso d'acqua, ovvero la loro entità e la loro variabilità nel tempo a diverse scale, dipende sia dal regime idrologico del bacino che dalla sua capacità di produzione solida. Pertanto, in fase di progettazione di un impianto idroelettrico o delle operazioni da svolgere è opportuno identificare il regime idrologico che può essere di tipo: pluviale, nivale, nivo-glaciale, nivo-pluviale e nivo-glacio-pluviale (per ulteriori informazioni consultare il manuale stilato per ARPA Lombardia). Una volta classificato il regime idrologico del bacino sarebbe opportuno valutarne il regime del trasporto solido (in questo caso in termini di concentrazioni solide, non di portate solide) andando a considerare 4 diversi aspetti:

1. entità dei valori medi stagionali di concentrazione solida;
2. entità e durata delle condizioni estreme stagionali di concentrazione solida;
3. frequenza e durata delle pulsazioni solide;
4. entità delle variazioni di concentrazione solida.

Questi macrogruppi vengono concretamente rappresentati da 9 indici di riferimento (nel seguito abbreviato in I.R.) riassunti in Figura 3.9, dove per periodo Q1 (I) si intendono i mesi tra gennaio e marzo, Q2 (II) aprile-giugno, Q3 (III) luglio-settembre, Q4 (IV) ottobre-dicembre e

ne consegue quindi che ogni I.R. è caratterizzato da 4 valori di riferimento relativi alle diverse stagioni.

I.R.	Variabile	Aspetto
1	Concentrazione media stagionale (stagioni I-IV)	Entità dei valori medi stagionali di concentrazione solida
2	Valore massimo di concentrazione stagionale (stagioni I-IV)	Entità e durata delle condizioni estreme stagionali di concentrazione solida
3	Valore massimo della media mobile della concentrazione di durata 1 ora stagionale (stagioni I-IV)	
4	Valore massimo della media mobile della concentrazione di durata 6 ore stagionale (stagioni I-IV)	
5	Valore massimo della media mobile della concentrazione di durata 12 ore stagionale (stagioni I-IV)	
6	Valore massimo della media mobile della concentrazione di durata 24 ore stagionale (stagioni I-IV)	Frequenza e durata delle pulsazioni solide
7	Numero di pulsazioni normalizzato stagionale di trasporto solido in sospensione (stagioni I-IV)	
8	Durata corrispondente al 95°percentile delle pulsazioni di trasporto solido in sospensione in ogni stagione (I-IV)	Entità delle variazioni di concentrazione solida
9	Rapidità di incremento della concentrazione solida corrispondente al 95°percentile delle pulsazioni di trasporto solido in sospensione in ogni stagione (I-IV)	

Figura 3.9: *Indicatori proposti per valutare la concentrazione di solidi sospesi (ARPA Lombardia 2019)*

Gli I.R. vogliono descrivere la situazione "naturale", ossia la torbidità registrata dalle stazioni di misura e non influenzata da operazioni di svaso, fluitazione o spurgo. L'idea presentata da ARPA Lombardia è quella di effettuare manovre e operazioni di rimozione del materiale accumulato all'interno del bacino, che producono un effetto "simile" all'andamento naturale, a sua volta descritto dagli I.R..

È opportuno che il monitoraggio della torbidità e del trasporto solido venga gestito dagli enti territorialmente competenti, i quali hanno l'onere di raccogliere i dati, elaborarli e validarli per conservarli in un database accessibile alle parti interessate, quali per esempio istituti di ricerca, compagnie di consulenza, gestori degli impianti idroelettrici. È inoltre auspicabile la creazione di una rete di stazioni di monitoraggio dei sedimenti simili tra loro, al fine di condividere dati ed esperienze sul monitoraggio e la gestione dei sedimenti, attraverso collaborazioni e scambi transfrontalieri.

3.5 Interazione fra gli impianti e i sedimenti

3.5.1 Problemi di usura delle turbine

Negli ultimi anni la ricerca scientifica si è notevolmente focalizzata sugli impatti che il trasporto solido in sospensione determina sulle macchine idrauliche, in particolare sulle turbine a

servizio degli impianti idroelettrici ad alto salto dotati di turbine Pelton, in condizioni di elevato flusso solido sospeso. Tali effetti, ascrivibili in primis ad un effetto di idro-abrasione delle componenti metalliche delle turbine, sono stati studiati in dettaglio e ad oggi le principali dinamiche che regolano tali processi sono note. A causa dell'abrasione delle componenti delle turbine imputabile al trasporto solido in sospensione, la geometria delle componenti delle macchine varia notevolmente nel tempo rispetto al loro profilo originale, causando una riduzione del rendimento delle stesse di numerosi punti percentuali rispetto allo standard iniziale.

L'usura di natura idro-abrasiva può inoltre comportare notevoli costi di manutenzione e causare anche la necessità di una sostituzione completa del gruppo macchine. Inoltre, una più frequente necessità di manutenzione e la fragilità delle componenti meccaniche nei confronti del trasporto solido può causare anche perdite di produzione di energia quando tali operazioni si rendono necessarie, durante i periodi di massima portata e di massimo apporto solido. Il deterioramento idro-abrasivo delle macchine dipende dai seguenti fattori (Abgottspon e altri, 2016):

- concentrazione, dimensione, forma e durezza delle particelle solide in sospensione;
- tipologia, componente interessata, geometria delle macchine;
- durezza dello strato di copertura superficiale e del materiale di fondo delle componenti meccaniche soggette al flusso dei sedimenti.

Diverse ricerche di laboratorio hanno dimostrato che, a parità di concentrazione solida influente, particelle di dimensione maggiori causano un grado di abrasione superiore rispetto alle particelle più fini. Pertanto è consigliabile (Felix e altri, 2016) procedere sempre non solo al monitoraggio delle concentrazioni solide influenti ma anche e soprattutto alla valutazione in tempo reale della distribuzione granulometrica del materiale solido che impatta sulle componenti interne delle macchine. Il tasso di abrasione indotto sulle componenti delle macchine può essere naturalmente anche quantificato. Nell'ambito del progetto di ricerca condotto da (Felix e altri, 2016) presso la centrale idroelettrica "Fischertal" sono state sperimentate diverse tecniche di rilevamento digitale sulle giranti delle turbine, che hanno permesso di quantificare la riduzione dello spessore dello strato protettivo delle parti meccaniche in relazione all'intensità del trasporto solido in sospensione influente ed alla dimensione caratteristica dei grani trasportati dal flusso di acqua turbinato. Altre attività di ricerca sono attualmente in corso in diversi laboratori del mondo e presso le centrali idroelettriche di numerosi poli di produzione nelle Alpi. Il fenomeno risulta comunque attualmente noto e diverse misure di gestione di questi processi sono attualmente in fase di sviluppo. Il problema si palesa anche in Provincia di Bolzano. Per indagare tali dinamiche e fornire ai Gestori spunti decisionali finalizzati alla riduzione dei danni da idro-abrasione, alla ottimizzazione dell'esercizio dell'impianto, nonché alla pianificazione dei necessari interventi di ispezione, manutenzione, revisione e risanamento delle componenti interessate delle macchine, si cita ad esempio il progetto di ricerca condotto dalla Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l. sull'impianto idroelettrico KW Saldur in Val di Mazia (Figura 3.10, Bittner 2020). In quest'impianto,



Figura 3.10: *La presa dell'impianto Saldur (Val di Mazia) ed immagine del materiale solido tipico del Rio Saldura*

dal 2008 è stata avviata una campagna sistematica di acquisizione dei più rilevanti parametri per la caratterizzazione dei processi abrasivi in atto sulla macchina dell'impianto. Sulla scorta dei risultati delle analisi fisiche e chimiche dei campioni di sedimento prelevati, dell'elaborazione dei dati collezionati e delle valutazioni tecniche condotte per similitudine con esperienze simili di letteratura è stato possibile ottenere informazioni preziose sul processo di usura in corso e definire dei criteri e degli spunti decisionali a supporto della futura gestione dell'impianto.

3.5.2 Interazione fra sedimenti, gallerie di derivazione e torrini piezometrici

In letteratura scientifica esistono studi sulle possibili interazioni fra i sedimenti e le macchine idrauliche (turbine) volti a definire ed investigare l'effetto di abrasione sulle opere meccaniche.

Un ulteriore problema legato alla gestione dei sedimenti a livello di impianto idroelettrico riguarda però l'interazione fra il sedimento fine e le opere idrauliche civili che garantiscono il funzionamento e la sicurezza dell'impianto stesso. Le opere civili sono tipicamente l'opera di derivazione, il canale di adduzione, il pozzo piezometrico, la galleria forzata e le opere di restituzione. Tutte queste opere sono state progettate negli anni passati (anni 1950 – 1970) ipotizzando un certo funzionamento con acqua povera di sedimenti in sospensione. Di conseguenza, gli effetti a breve e lungo termine del materiale solido in sospensione non venivano considerati. Le nuove tecniche di gestione dei sedimenti a scala di bacino e di impianto idroelettrico dovranno però tenere in conto anche queste opere. Per esempio, fra le operazioni che vengono proposte in letteratura per la gestione dei sedimenti, è presente quella della risospensione del sedimento tramite dragaggio e l'immissione di tale sedimento nella galleria di derivazione che porterà il sedimento fino alle turbine. Oltre al possibile effetto di abrasione delle pale delle turbine, si avranno anche effetti sulla galleria di derivazione e sulla condotta forzata. Fra queste due opere è quasi sempre presente un pozzo piezometrico che ha lo scopo di proteggere dal colpo d'ariete la galleria in pressione posta a monte. Il fenomeno del colpo d'ariete si genera a causa di una brusca diminuzione della portata liquida all'interno della condotta. Per esempio, nelle fasi di chiusura della saracinesca a valle,

si crea a monte della stessa una sovrappressione che genera il colpo d'ariete. Per assorbire tale sovrappressione, la colonna d'acqua presente nel pozzo piezometrico si solleva. Il pozzo piezometrico ha anche la funzione di volano idraulico, cioè di rendere immediatamente disponibile una certa quantità d'acqua a monte delle turbine all'apertura delle valvole in centrale. Il pozzo piezometrico, quindi, ha una altezza almeno pari alla quota di massimo invaso del serbatoio e un volume idoneo per assorbire queste variazioni di pressione. Per aumentare il volume utile, molto spesso il pozzo piezometrico presenta delle camere laterali tipicamente poste a due quote diverse, una superiore ed una inferiore. Data la sua funzione centrale nella sicurezza dell'impianto, la sua corretta progettazione è di primaria importanza. La presenza di sedimento in sospensione non considerata in fase di progettazione può avere una influenza negativa sul funzionamento del pozzo piezometrico. In particolare, la camera laterale posta a quota più bassa può subire un fenomeno di interrimento comportando una riduzione del volume utile del pozzo e quindi pregiudicare il funzionamento secondo progetto, rendendo il torrino potenzialmente pericoloso.

Tale fenomeno di interrimento della camera laterale è stato studiato sperimentalmente in un lavoro presentato durante la conferenza IAHR2018 (Pisaturo e altri, 2018). Il lavoro descrive e spiega i processi idrodinamici che portano alla riduzione di volume utile in un pozzo piezometrico ad opera dei sedimenti che vengono intrappolati.

3.6 Costi per la gestione dei sedimenti

In un processo industriale i costi possono essere suddivisi in costi diretti ed indiretti. I primi sono quelli sostenuti in forma palese per la produzione (nel caso dell'industria idroelettrica si tratta di produzione di energia); i costi diretti sono facilmente individuabili e quantificabili, perchè devono essere sostenuti affinché il processo produttivo possa essere completato. Esempi generali di costi diretti sono quelli di approvvigionamento delle materie prime, le spese del personale impiegato in produzione, ecc.

I costi indiretti sono quelli che non sono imputabili direttamente alla produzione, ovvero quelli che, anche quando non sono sostenuti dall'azienda, non comportano l'arresto del processo produttivo. Rientrano nei costi indiretti anche quelli imputabili agli effetti della produzione sull'ambiente, ovvero sui beni comuni e sulla collettività.

3.6.1 Costi diretti

I costi diretti delle operazioni di gestione dei sedimenti sono imputabili allo svolgimento delle stesse e possono essere suddivisi nelle seguenti voci:

- **operazioni di rimozione meccanica:** i costi di una eventuale rimozione meccanica dei sedimenti possono essere quantificati caso per caso considerando i costi vivi delle operazioni di rimozione, quelli di trasporto e smaltimento. Preventivamente a qualunque operazione di rimozione meccanica è necessario effettuare dei campionamenti con relative analisi della qualità dei sedimenti: parametri fisici (densità, conducibili-

tà elettrica, eventuale composizione granulometrica) e chimici (pH, fluoruri, cloruri, nitrati, solfati, cianuri, composti organici, metalli pesanti).

- **perdita di produzione:** i costi dovuti alla perdita di produzione sono stimabili sulla base dei dati storici e delle previsioni di portata durante il periodo dello spurgo/fluitazione. Incide su questa voce anche il prezzo di vendita dell'energia. Il periodo di mancata produzione può essere fatto coincidere con eventuali operazioni di manutenzioni necessarie nell'impianto, per ridurre le perdite di produzione complessive.
- **monitoraggio**¹: i costi per una campagna di monitoraggio variano da caso a caso e dipendono dal numero di addetti necessari, da quello di torbidimetri installati, dal numero di campioni prelevati e analizzati in laboratorio, dalla possibilità di fare sinergia con un ente di ricerca interessato a coprire una parte dei costi del monitoraggio con finalità scientifiche.
- **comunicazione:** la comunicazione del complesso fenomeno dell'interazione fra i sedimenti e gli impianti idroelettrici meriterebbe una campagna mirata, nella quale mettere in luce la necessità delle manovre di gestione, i loro impatti sugli alvei e sugli impianti, le alternative possibili. Sarebbe auspicabile inoltre comunicare agli stakeholder il processo conoscitivo che ha portato all'individuazione di quella che è valutata come "migliore alternativa".

3.6.2 Costi indiretti o esterni

Il quadro normativo per i paesi membri dell'Unione Europea è basato sui principi indicati nella Direttiva Quadro Acque (DQA Direttiva 2000/60/CE) e recepiti mediante normative a livello nazionale e locale. Gli impianti idroelettrici devono essere gestiti rispettando i principi economici alla base della DQA, anche per tutte le attività relative alla gestione del sedimento.

I costi esterni sono quelli che non sono sostenuti direttamente dal Gestore, ma che ricadono sulla collettività. Nel caso degli impianti idroelettrici i costi esterni sono dovuti all'impatto degli impianti sull'ecosistema fluviale, sulla morfologia fluviale e sul paesaggio, oltre che sugli altri usi dell'acqua presenti nei corsi d'acqua, come ad esempio la pesca e l'uso ricreativo.

La quantificazione dei costi esterni non può avvenire in maniera analitica; ad esempio per gli impianti di produzione di energia da fonte non rinnovabile i costi esterni possono essere stimati mediante l'approccio LCA (*Life Cycle Analysis*) e ricorrendo alla stima delle tonnellate CO₂ equivalente prodotte.

Gli impianti idroelettrici sono alimentati da una fonte rinnovabile di energia e sono caratterizzati da esternalità basse, ma comunque non nulle. Tutto ciò premesso è importante osservare come la DQA metta in luce i seguenti principi generali:

- devono sempre essere rispettati i principi di sostenibilità ecologica, economica e sociale;

¹ Nel paragrafo 4.4 è riportata una stima dei costi di monitoraggio

- devono essere evitati costi (sia esterni che diretti) sproporzionati;
- lo stato ecologico del corso d'acqua non è un obiettivo negoziabile. Questo significa che i Gestori sono tenuti a operare in modo tale da non influenzare lo stato ecologico dei corsi d'acqua;
- deve essere effettuata un'analisi costi/benefici.

Nel contesto regolatorio della DQA inoltre è presente il concetto di "chi inquina paga", che nel caso degli impianti idroelettrici deve essere esteso al concetto della natura pubblica della risorsa alla quale si attinge.

Il quadro normativo europeo sostanzialmente non contempla la possibilità che la gestione di un impianto idroelettrico abbia effetti significativi sullo stato ecologico dei corsi d'acqua e che gli effetti, ancorché ridotti, siano monetizzati e risarciti dai Gestori.

Nella gestione delle società di produzione idroelettrica vengono istituiti dei fondi per oneri ambientali, che vengono trascritti a bilancio e che sono generalmente costituiti dagli impegni assunti dai concessionari, ai sensi dei disciplinari di concessione, verso gli enti territoriali (Alperia GreenPower srl, bilancio d'esercizio al 31.12.2019). In alcuni casi i concessionari iscrivono a bilancio un fondo per il ripristino degli invasi, da utilizzare entro la scadenza delle concessioni per tutte le operazioni di rimozione/gestione dei sedimenti (Hydro Dolomiti Energia srl, bilancio d'esercizio al 31.12.2019). In altri casi (ENEL Green Power SPA, bilancio d'esercizio al 31.12.2019) viene istituito un fondo per oneri ambientali, che rappresenta l'ammontare dei costi che probabilmente la società sarà chiamata a sostenere per il disinquinamento o il ripristino delle condizioni ambientali, qualora la propria attività procuri danni all'ambiente.

3.6.3 Stima dei costi rimozione di sedimento

Premesso che i costi delle operazioni per ogni impianto devono essere stimati mediante un'analisi sito specifica si riportano alcune stime tratte da ITCOLD (2009). Secondo questa fonte, il materiale depositato all'interno dei serbatoi può essere classificato in due categorie: (i) materiale di pregio e (ii) materiale privo di valore commerciale. Il secondo è costituito da ghiaia e sabbia riutilizzabili sia come materiali da costruzione che come materiale inerte, conferito in discarica in prossimità del serbatoio.

Per i materiali di pregio i costi di rimozione si ripagano praticamente da soli attraverso la vendita; per rimuovere il materiale privo di valore commerciale il flushing non risulta tra le tecnologie più economiche, perché richiede il consumo di grandi quantità di acqua. Assumendo il costo del flushing pari a 1, ITCOLD (2009) stima che le operazioni di dragaggio in acqua abbiano un costo pari a 0.84, quelle di scavo a bacino vuoto 0.75, e il conferimento di materiale inquinato in discarica circa 5.

A titolo di esempio si riportano due casi di calcolo dei costi per operazioni di rimozione di materiale da un serbatoio, tratti da ITCOLD (2009). Nel primo caso si tratta di dragaggio in acqua e sistemazione a discarica in prossimità del serbatoio. In questo esempio si ipotizza che la rimozione riguardi 100.000 m^3 e venga effettuata in sei mesi. I costi sono così ripartiti:

- costi fissi, circa 11 €/m³: apertura del cantiere, realizzazione di vasche di decantazione, viabilità di cantiere, predisposizione dell'area di discarica, perdite di produzione (se l'intervento richiede limitazioni all'esercizio);
- costi proporzionali, 17 €/m³: scavo con draghe e trasporto del materiale scavato con tubazioni e camion.

Nel secondo caso si ipotizza la rimozione di inerte con scavo all'asciutto e sistemazione a discarica in prossimità del serbatoio. I costi sono così ripartiti:

- costi fissi, circa 17 €/m³: apertura del cantiere, viabilità di cantiere, predisposizione dell'area di discarica, perdite di produzione (se le operazioni coincidono con ulteriori esigenze di manutenzione può essere computata una sola parte della perdita di produzione);
- costi proporzionali, 8 €/m³: scavo mezzi con meccanici e trasporto del materiale scavato con camion.

Nel caso di conferimento del materiale in discarica speciale i costi lievitano fino a un ordine di grandezza. Queste stime sono puramente indicative, perchè la sitospecificità dei singoli impianti può farle cambiare significativamente.

3.6.4 Stima dei costi galleria di by-pass

Il paese dove sono più diffuse le gallerie di by-pass di sedimenti è la Svizzera. Secondo i dati riportati da Auel (2014) il costo di costruzione per metro lineare di galleria varia fra 13 e 41 CHF/m (il cambio CHF-€ nel 2020 è stato pari a 1.06÷1.08 €/CHF); i costi annuali di manutenzione per i diversi impianti presenti in Svizzera sono pari a: Pfannensprung 100.000 CHF/anno, Egshi 20.000 CHF/anno, Rempen 5000÷15000 CHF/anno. In alcuni casi sono stati necessari degli interventi di manutenzione straordinaria con parziale rifacimento delle gallerie che hanno comportato costi notevoli, ad esempio fino a 2.200.000 CHF per la galleria di Egschi.

3.7 Ecologia

3.7.1 Gli aspetti ecologici legati alla gestione dei sedimenti

I corsi d'acqua sono caratterizzati da molteplici parametri ambientali, sia abiotici che biotici, che, insieme, ne determinano la qualità ecologica. Si ricordano fra questi la profondità dell'acqua, la velocità della corrente, il tipo di substrato, le comunità di organismi vegetali ed animali, la quantità di materiale organico ed inorganico, la temperatura, l'ossigeno disciolto e la torbidità. Tutti questi sono fortemente correlati fra di loro e la deviazione anche di un singolo fattore dalle condizioni ottimali può determinare il peggioramento dello stato ecologico del corso d'acqua.

Facendo riferimento alla gestione dei sedimenti dai bacini artificiali, gli aspetti di un corso

d'acqua a valle della diga che vengono maggiormente influenzati dalle operazioni di svaso sono la profondità dell'acqua, la velocità della corrente e la torbidità, nonché le popolazioni e comunità di pesci e macroinvertebrati. Questi fattori, insieme al substrato, sono infatti i parametri che vengono normalmente utilizzati dai modelli di simulazione di disponibilità di habitat quali, ad esempio, CASiMiR o MesoHABSIM.

I monitoraggi ecologici effettuati in occasione di alcune operazioni di flushing hanno evidenziato dei risultati che sono significativi ed utili per trarre delle conclusioni e degli spunti di riflessione, meritevoli di essere sviluppati ed integrati nelle future valutazioni sulla gestione dei sedimenti nei bacini artificiali alpini.

3.7.2 Gli effetti sulla comunità macrobentonica

I monitoraggi della comunità macrobentonica su fiumi soggetti a flushing di sedimenti evidenziano generalmente come questa manovra causi un impatto particolarmente evidente nel breve periodo. Infatti, la ricchezza in taxa e l'indice di diversità di Shannon generalmente diminuiscono rispetto alle condizioni pre-svaso, ma mostrano una tendenza a recuperare nel più lungo periodo.

Il monitoraggio eseguito sul fiume Rienza nel 2019 nell'ambito del progetto Sediplan ha evidenziato come, circa tre mesi dopo la fine delle operazioni, l'indice di diversità fosse aumentato, senza però raggiungere i valori osservati pre-svaso. Nello stesso caso, la densità di organismi era invece aumentata nel tempo, nonostante il flushing. L'aumento di densità è risultato particolarmente consistente a partire dal secondo monitoraggio post-svaso nei siti immediatamente a valle della diga, a causa della ricca presenza di ditteri Chironomidi, organismi polivoltini che, probabilmente, anche a causa dell'aumento di portata e della forza tangenziale al fondo, sono stati oggetto di drift dai tratti più a monte. Questo aumento di densità, non accompagnato da un aumento di diversità nei primi due siti subito a valle della diga, permette di osservare come l'impatto del flushing sia stato più rilevante per le comunità che abitano questi tratti fluviali, a causa del consistente aumento delle concentrazioni dei solidi sospesi e della portata (dovute anche alla morfologia della valle). Per contro, nei siti posti più a valle, le concentrazioni di sedimenti in sospensione arrivavano ridotte, grazie alla diluizione operata dagli immissari e soprattutto dalla confluenza tra Rienza e Isarco, permettendo di mitigare l'impatto del flushing sulle comunità abitanti il tratto più vallivo della Rienza. Nonostante l'apparente recupero della comunità in termini di densità e ricchezza, subito dopo il flushing è stato osservato un cambiamento importante a livello tassonomico, ed un mancato ritorno a condizioni pre-flushing anche nel secondo monitoraggio post-svaso. In particolare, è stato osservato che il flushing ha operato una selezione a livello tassonomico, riducendo o eliminando quasi completamente le specie più sensibili alla presenza di sedimenti fini (es. Heptageniidae e Baetis sp.). Un altro gruppo di organismi chiave che ha subito una drammatica riduzione è stato quello degli organismi trituratori o "shredders", importanti a livello funzionale in quanto responsabili dei processi che riguardano il ciclo della materia organica particolata grossolana (CPOM), come foglie o detrito legnoso. La loro assenza nei campioni post-svaso, particolarmente significativa nel sito subito a valle della diga, è molto probabilmente da attribuire alla riduzione della qualità e disponibilità di materia

organica al fondo, dovuta alla presenza di materiale fino che via via si è depositato, nonché all'aumento della portata durante il flushing. L'evento di flushing con i suoi conseguenti cambiamenti ha operato una selezione non solo a livello tassonomico, ma anche a livello funzionale, risultato ottenuto attraverso l'analisi dei tratti funzionali; infatti, sono stati favoriti i taxa più tolleranti alla presenza di fango e periphyton, i taxa che conducono vita sessile, ovvero che sono fortemente ancorati al substrato (grosse rocce) tramite ventose, i taxa che sono nuotatori poco abili e che passivamente vengono trasportati dalla corrente, o, infine, gli organismi filtratori che si nutrono di materiale fine in sospensione, rilasciato in quantità elevate con il flushing.

In conclusione, un evento di flushing ha conseguenze sia immediate che durature sulle comunità di organismi acquatici. Nonostante gli effetti sulla diversità appaiano moderati, il ritorno della comunità a livello funzionale a valori pre-flushing è lento, con conseguenti potenziali impatti sull'intera catena trofica e sulle dinamiche di comunità.

3.7.3 Gli effetti sulla comunità ittica

Per completezza di informazione vengono descritti quali possono essere i potenziali effetti delle operazioni di gestione dei sedimenti sulla popolazione ittica. Queste osservazioni derivano sia dalle esperienze di operazioni di flushing effettuate in provincia di Bolzano, sia da evidenze di letteratura scientifica.

In generale, la comunità ittica è fortemente influenzata dalle variazioni rapide di portata (in termini sia di variazione della profondità dell'acqua che della velocità della corrente) e di torbidità. Per quanto riguarda le variazioni di portata, i principali effetti sulla popolazione ittica sono:

- drift: lo spostamento verso valle dei pesci dalla loro posizione originale, a causa dell'aumento della portata. Questo movimento può essere volontario ovvero generato dalla deliberata ricerca di condizioni di habitat più favorevoli, ma può essere anche passivo o altrimenti detto catastrofico, e può quindi portare alla loro morte;
- stranding: lo spiaggiamento dei pesci causato dalla diminuzione molto rapida della portata, che causa il prosciugamento di porzioni significative lungo le sponde dei corsi d'acqua;
- stress: una variazione di portata può causare uno stress nei pesci con conseguente riduzione della loro mobilità ed un possibile aumento della loro predazione;
- riduzione di habitat: le variazioni di portata determinano una modifica delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua con conseguente impatto sugli ambienti favorevoli alla presenza (habitat) dei pesci.

Per quanto riguarda gli effetti dell'incremento della torbidità a seguito delle operazioni di flushing, la letteratura scientifica è ad oggi ancora carente, e la loro quantificazione durante eventi reali di flushing è difficilmente stimabile a causa della contemporanea alterazione dei parametri idraulici di cui sopra. Risulta di conseguenza molto difficile isolare gli effetti della

sola torbidità sulla salute dei pesci. Il principale studio riguardo gli effetti della torbidità sui pesci è quello di Newcombe e Jensen (1996). In questo lavoro, gli autori presentano una metodologia per determinare l'impatto sulla fauna ittica della concentrazione di solidi sospesi (torbidità) e della sua persistenza. Come risultato generale mostrano come l'effetto negativo della torbidità (fino alla morte) cresca al crescere della concentrazione e del tempo di persistenza dei solidi sospesi. Inoltre, i diversi stadi vitali della fauna ittica (giovani ed adulti) mostrano una resistenza diversa alla torbidità e presentano quindi risposte diverse.

Applicando l'approccio di Newcombe e Jensen (1996), si può stimare l'entità dell'impatto esclusivamente dovuto alla concentrazione media di torbidità durante il flushing, il cui valore determina, nel caso del flushing di Rio di Pusteria condotto nel 2019, un pesante stress fisiologico sui pesci con riduzione del tasso di crescita e del numero di individui.

I risultati ottenuti con questo approccio sono in linea con i dati raccolti nei monitoraggi effettuati dall'Ufficio Caccia e Pesca in Provincia di Bolzano, che mostrano una riduzione della quantità di biomassa ittica nelle stazioni di monitoraggio a valle degli impianti su cui sono state effettuate le manovre di flushing.

3.7.4 Le buone pratiche di monitoraggio ecologico

I risultati dei monitoraggi biologici suggeriscono generalmente la necessità di monitorare gli effetti delle operazioni di rimozione dei sedimenti non solo nel breve termine, generalmente nell'arco di 3 mesi dopo la fine dello svaso, ma anche in un arco di tempo più lungo, per verificare se le comunità mettano in atto meccanismi di resistenza o resilienza che permettano loro il ritorno a condizioni pre-disturbo, essenziali alla piena funzionalità degli ecosistemi acquatici. Infatti, specie più sensibili possono avere un tempo di recupero più lungo, particolarmente nei sistemi fluviali alpini interessati dalla presenza di dighe, dove il ripopolamento delle specie risulta più difficile a causa degli sbarramenti che impediscono la libera dispersione delle specie stesse. Inoltre, la combinazione dell'analisi tassonomica con quella dei tratti funzionali porta ad una visione d'insieme più esaustiva sugli effetti del flushing, che verrebbero sottostimati se fosse condotta la sola analisi tassonomica. È auspicabile quindi che questo approccio duale venga sempre più utilizzato per il monitoraggio delle comunità macrobentoniche dopo le operazioni di fluitazione dei sedimenti da bacini artificiali.

In conclusione, per monitorare gli effetti della gestione dei sedimenti sulle componenti biotiche è necessario non solo programmare campagne di misura di torbidità e portata, ma è indispensabile prevedere anche dei monitoraggi prettamente ecologici con campionamenti di macrobenthos e fauna ittica pre- e post-svaso, ad intervalli tali per cui si abbia una panoramica ampia dello stato ecologico del corso d'acqua. In particolare, si consiglia di effettuare almeno un monitoraggio pre-flushing e due post-flushing. Inoltre, i monitoraggi post-flushing dovrebbero essere programmati in modo tale che il primo sia immediatamente dopo le manovre di rimozione dei sedimenti, per quanto possibile, mentre il secondo monitoraggio sia almeno 3-5 mesi dopo l'evento. Se possibile, un terzo monitoraggio post-flushing, a distanza di 6 ulteriori mesi circa, sarebbe auspicabile per verificare il potenziale ritorno delle comunità a condizione pre-disturbo.

3.7.5 La possibilità di usare un modello ecologico

Grazie ai monitoraggi dello stato ecologico di un corso d'acqua soggetto a svaso si ottengono dei dati che possono essere utilizzati per l'utilizzo e lo sviluppo di nuovi modelli ecologici. La finalità di questi modelli, una volta tarati su un'adeguata quantità di dati, è quella di poter quantificare l'effetto di queste manovre sulle comunità biotiche di interesse (benthos e pesci), e di poter prevedere i possibili effetti di nuove metodologie di gestione dei sedimenti.

Ricordando che attualmente non esistono modelli ecologici che riescano a considerare contemporaneamente gli effetti delle variazioni di portata e di torbidità, studi attuali e futuri dovrebbero essere indirizzati verso questa nuova linea di ricerca, permettendo così di ottenere un modello utilizzabile per la gestione ed il controllo di queste operazioni. Ad oggi, e grazie al progetto Sediplan, si è cercato di implementare un aggiornamento del modello ecologico CASiMiR per tenere conto anche degli effetti della torbidità sullo stato ecologico del corso d'acqua.

4 Monitoraggio del trasporto solido

4.1 Cosa s'intende per monitoraggio e perché è importante

Il monitoraggio del trasporto solido ha l'obiettivo di quantificare il sedimento, grossolano e fine, che viene trasportato da un corso d'acqua. Il monitoraggio differisce quindi dalla stima o modellazione numerica del trasporto solido in quanto si basa unicamente su dati misurati in campo o telerilevati, e vuole quindi "misurare" per quanto possibile tale processo.

La portata solida (sia al fondo che in sospensione) in un certo tratto fluviale è funzione di numerose variabili, le quali determinano da una lato la capacità della corrente di trasportare sedimento (sforzo tangenziale al fondo, intensità della turbolenza) e dall'altro la disponibilità di sedimento effettivamente trasportabile (volumi complessivi e loro distribuzione granulometrica). Solo nel caso di disponibilità illimitata di sedimento mobilizzabile la capacità di trasporto della corrente viene effettivamente raggiunta. Molto più spesso, soprattutto in corsi d'acqua montani, le portate solide (sia in sospensione che al fondo) risultano essere di diversi ordini di grandezza inferiori a quanto teoricamente raggiungibile (e stimabile tramite le "classiche" formulazioni matematiche). Questo avviene in virtù della limitata disponibilità di materiale solido trasportabile durante condizioni ordinarie, e soltanto durante eventi di piena importanti (ovvero non frequenti) si hanno portate solide effettive paragonabili alla capacità della corrente. Per tali motivi è indispensabile monitorare il trasporto solido e non limitarsi all'utilizzo di equazioni di trasporto assumendo che queste possano fornire delle stime adeguate, se non nel caso appunto di eventi di piena con elevati tempi di ritorno. Per esempio, in una regione montana, si ha generalmente elevato trasporto solido verso la fine della primavera/inizio estate, quando la fusione nivale determina una forte alimentazione di sedimento fine dai versanti che può essere trasportato dai flussi idrici tipicamente sostenuti di questo periodo. Tuttavia, se il corso d'acqua è più e più volte interrotto dalla presenza di briglie o altri sbarramenti, il sedimento verrà depositato a monte degli stessi e dunque il fiume, seppur in una stagione in cui sono attese elevate concentrazioni di sedimento, non avrà la possibilità di ricaricare il corpo idrico di valle con il sedimento di monte.

Attraverso il monitoraggio è possibile ottenere quindi una stima del trasporto solido, la quale consente di:

- interpretare ed anticipare le dinamiche morfologiche di medio periodo dei corsi d'acqua, le quali sono necessarie per una maggior affidabilità delle mappe di pericolosità idraulica;
- valutare e progettare interventi efficaci di miglioramento dello stato eco-morfologico del corso d'acqua;
- progettare una gestione efficace e sostenibile delle centrali idroelettriche;

- adottare un sistema sostenibile di gestione dei sedimenti;
- calibrare e validare modelli numerici finalizzati alla previsione del trasporto solido.

4.2 Metodi di monitoraggio

I metodi di monitoraggio del trasporto solido si differenziano in base alla modalità del meccanismo, ovvero sedimenti trasportati in sospensione ed al fondo.

4.2.1 Monitoraggio del trasporto solido in sospensione

Il monitoraggio del trasporto solido in sospensione si basa sulla stima della concentrazione media ponderale (in mg/l) di solidi sospesi (CSS) sul piano di una sezione trasversale del corso d'acqua, la quale se moltiplicata per la concomitante portata liquida fornisce la misura della portata solida istantanea transitante attraverso la sezione stessa. Il sedimento fine trasportato in sospensione è solitamente composto da ghiaia, sabbia, limo e argilla, quindi da particelle con diametro inferiore a 2 mm. Eccezionalmente, in corsi d'acqua ad elevata pendenza e turbolenza, anche le ghiaie possono essere trasportate in sospensione. Il monitoraggio del trasporto solido può essere effettuato in maniera istantanea o continua. Nel primo caso, vengono utilizzati per esempio il campionatore puntuale o il campionatore a pompa raffigurati in Figura 4.1, prelevando un campione di acqua e sedimenti, sul quale misurare il contributo volumetrico di sedimenti presenti, mediante il cono Imhoff, oppure la concentrazione in peso di sedimenti presenti. Questa ultima misura richiede di separare il materiale solido in sospensione, essiccarlo e pesarlo ed è quindi una misura che richiede più tempo.

Quando si è interessati a conoscere la variabilità temporale del trasporto solido si ricorre invece al monitoraggio in continuo tramite misure indirette, generalmente tramite sonde ottiche (o torbidimetri, vedi Figura 4.2) che misurano la quantità dei solidi sospesi in un flusso (torbidità), le quali vanno opportunamente calibrate tramite i campionamenti puntuali manuali od automatici precedentemente menzionati.

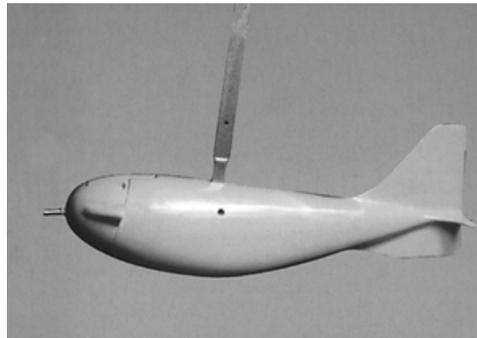
La torbidità dell'acqua si può esprimere con due unità di misura:

- mg/l di SiO_2 ;
- NTU (Nephelometric Turbidity Units) o FTU (Formazine Turbidity Units), le quali sono equivalenti.

Il primo sistema usa come standard delle sospensioni ottenute con farine fossili, le quali, tramite sedimentazione e misurazioni gravimetriche, vengono utilizzate per tarare le sonde. Le altre unità (NTU e FTU) sono basate sulla formazina standard, la quale è un polimero organico insolubile che origina sospensioni stabili, per la creazione di sospensioni standard da utilizzare nella taratura. Le due unità di misura sono facilmente convertibili in quanto 1 mg/l di SiO_2 equivale a 7,5 NTU. È importante sottolineare come i sedimenti trasportati in sospensione in un corso d'acqua siano caratterizzati da dimensioni e colori variabili, sia nello spazio (da bacino a bacino, ma anche lungo una stessa asta fluviale) che nel tempo (per



(a) cono-Imhoff



(b) Point-integrated-samplers



(c) Campionatore a pompa



(d) Campionatore a pompa (particolare)

Figura 4.1: Monitoraggio puntuale del trasporto solido in sospensione



Figura 4.2: *Monitoraggio continuo del trasporto solido in sospensione con l'utilizzo di un torbidimetro. Questo viene installato da un operatore e richiede una manutenzione più o meno frequente a seconda dell'intensità degli eventi di piena. Il torbidimetro può essere installato su un carrellino mobile lungo una rotaia per facilitare le operazioni di manutenzione (sotto)*

una certa sezione fluviale, a seconda del punto di origine dei solidi sospesi (Figura 4.3).

Non sono molti i modelli di strumentazione torbidimetrica/nefelometrica attualmente utilizzati in Europa per il monitoraggio in continuo dei corsi d'acqua. Ogni modello presenta dei vantaggi e delle problematiche. È fondamentale quindi scegliere il modello più adeguato alle condizioni ambientali di installazione.

4.2.2 Monitoraggio del trasporto solido al fondo

Il trasporto al fondo è un processo importante, sebbene esso riguardi una frazione generalmente molto bassa del trasporto solido totale annuo di un corso d'acqua, in quanto è responsabile delle variazioni morfologiche degli alvei: l'incisione, l'aggradazione e l'erosione spondale sono fortemente legati alla quantità di sedimento trasportato al fondo.

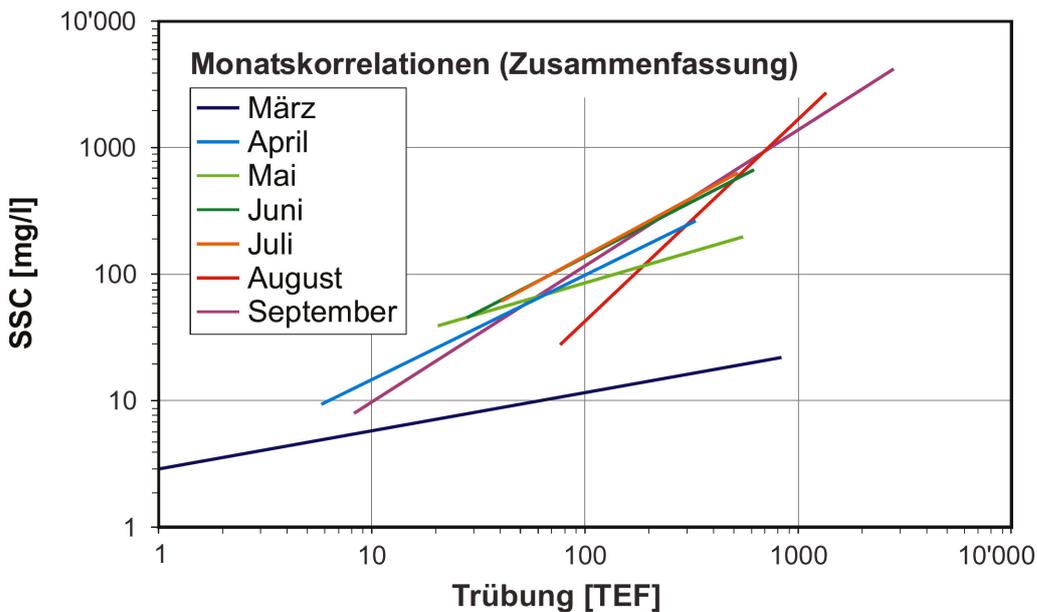


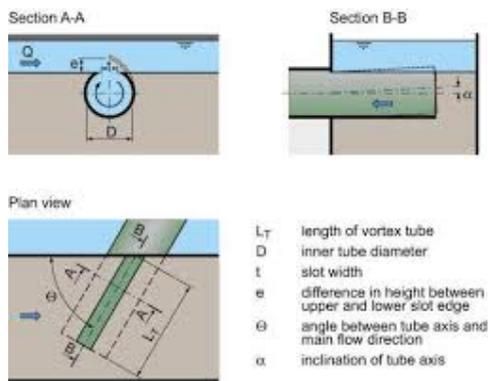
Figura 4.3: Relazioni mensile tra torbidità (in ascissa) e concentrazione solida in sospensione (in ordinata) nel fiume Lutschine a Gsteig (Svizzera), da Spreafico e altri (2005)

Il monitoraggio del trasporto solido di fondo è quindi importante per comprendere ed anticipare l'evoluzione morfologica di un corso d'acqua in risposta a pressioni naturali ed antropiche. Tra queste ultime, l'utilizzo delle risorse idriche a fini idroelettrici spesso comportano importanti deficit nel trasporto solido al fondo a valle di sbarramenti, e la sua quantificazione tramite le attività di monitoraggio assume quindi una grande importanza sia dal punto di vista ecologico (per esempio disconnessioni della piana inondabile a causa di incisione dell'alveo, corazzamento del substrato) che di sicurezza idraulica (possibili scalzamenti di opere idrauliche per incisione dell'alveo).

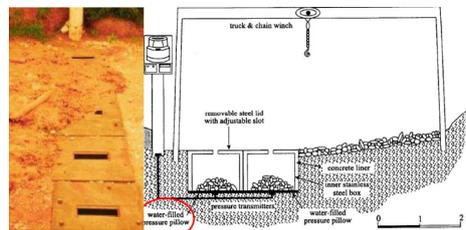
Il monitoraggio può essere di due tipi: diretto e indiretto. Il monitoraggio diretto prevede misure di volume o di peso dei sedimenti trasportati in un certo intervallo temporale. Le principali metodologie dirette di misura utilizzate sono riportate in in Tabella 4.1 mentre Figura 4.4 mostra alcuni degli strumenti utilizzati.

MONITORAGGIO DIRETTO	
Tipo	Breve descrizione
Metodo morfologico	La variazione morfologica dell'alveo può essere associata al trasporto di sedimenti.
Bacini di sedimentazione	In torrenti montani si può valutare il trasporto solido, a scala di singolo evento, dal riempimento di bacini di sedimentazione a monte di briglie. Questo avviene attrezzando adeguatamente i bacini di sedimentazione con: <ul style="list-style-type: none"> - Campionatore a carrello "mobile" posto a valle della briglia. - Sensori di pressione posti sul fondo del bacino di sedimentazione. - Griglia separatrice e sensori ultrasuoni sopra l'area di deposito.
Campionatore vortex	Consiste in una fessura sul fondo di un cunettone o un tubo libero che cattura i sedimenti trasportati dalla corrente. In questo modo si ottiene una misura in continuo dell'intensità di trasporto solido. Questo metodo è più adatto a corsi d'acqua con sedimenti prevalentemente ghiaiosi.
Trappole a fessura (slot samplers)	Consiste nella pesatura dei sedimenti veicolati dalla corrente che cadono all'interno di fessure poste sul fondo dell'alveo.
Campionatore tipo Helley-Smith	È un campionatore portatile che, collocato in alveo, consente la raccolta di alcuni chilogrammi di materiale trasportato dalla corrente durante un certo intervallo di tempo, in genere dell'ordine di pochi minuti. Richiede l'assistenza di un operatore.
Campionatore tipo Bunte	È un campionatore portatile che, collocato in alveo, consente la raccolta di alcuni chilogrammi di materiale trasportato dalla corrente durante un certo intervallo di tempo, in genere dell'ordine di pochi minuti. Ideale in torrenti di montagna e non richiede l'assistenza costante di un operatore, la dimensione della maglia è 4 mm.
Traccianti	Consiste nel marcare (tramite colore o l'inserimento di microchip) alcuni clasti grossolani e monitorarne lo spostamento. L'informazione della distanza media di trasporto viene accoppiata alla durata del trasporto per ottenere la velocità virtuale dei clasti. Da tale velocità si può stimare il volume solido trasportato al fondo attraverso l'area trasversale dell'alveo soggetta al trasporto.

Tabella 4.1: *Tecniche di monitoraggio del trasporto solido al fondo (Aigner e altri, 2013)*



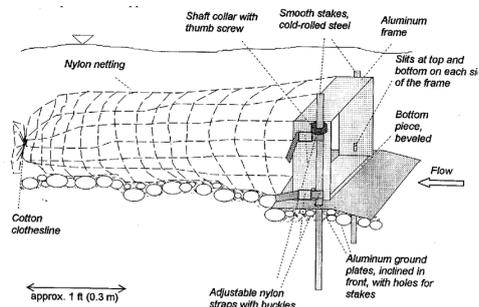
(a) Campionatore vortex



(b) Trap_fessura



(c) Helley



(d) Bunte

Figura 4.4: Monitoraggio diretto del trasporto solido al fondo

MONITORAGGIO INDIRETTO			
Sensore	Descrizione	Caratteristiche	Referenze
Idrofoni (immersi)	Sensori acustici immersi in acqua.	Altamente soggetti a danneggiamento. Frequenza di campionamento molto alta (fino a 100 kHz).	Mizuyama e altri (2011); Rickenmann (2017)
Piastre geofoniche (sul fondo)	Geofoni o accelerometri che rilevano la vibrazione generata dall'impatto dei clasti su una piastra metallica.	Alta frequenza di campionamento (da 5 a 10 kHz), acquisizione del segnale in impulsi al minuto, infrastruttura costosa.	Coviello e altri (2019); Rickenmann e altri (2014); Wyss e altri (2016a); Wyss e altri (2016b)
Tubo/piastre "giapponesi" (sul fondo)	Sensori acustici installati su una piastra metallica o in un tubo metallico adagiati sul fondo del torrente.	Struttura meno dispendiosa ma soggetta a danneggiamento. Frequenza di campionamento 1 kHz.	Dell'Agnese e altri (2014); Mao e altri (2016)
Sismometri (fuori alveo)	Sensori sismici installati in prossimità delle sponde, che registrano la vibrazione del terreno prodotta dal trasporto al fondo.	Frequenza di campionamento più bassa (< 1 kHz), basso costo di installazione, efficaci durante eventi intensi e per materiale grossolano.	Bakker e altri (2020); Barrière e altri (2015); Coviello e altri (2018); Roth e altri (2016)

Tabella 4.2: *Tecniche di monitoraggio indiretto del trasporto solido al fondo*

Il monitoraggio indiretto invece viene eseguito attraverso misure "surrogate" che permettono la registrazione di serie storiche di dati in continuo, da calibrare con campionamenti diretti. I metodi di misura indiretti più diffusi sono brevemente descritti in Tabella 4.2 mentre Figura 4.5 mostra alcuni degli strumenti di misura utilizzati. Infine, Tabella 4.3 presenta i vantaggi e gli svantaggi dei diversi metodi di monitoraggio, sia diretto che indiretto.



(a) Geofono a piastra



(b) Idrofono a tubo

Figura 4.5: Monitoraggio indiretto del trasporto solido al fondo

	Invasività	Flessibilità	Durata campionamento	Efficienza	Dati	Distanza trasporto	Automatizzazione	Costi
Trappola a fessura	--	---	++	-	+++		+++	-
Helley- Smith	---	+++	---	--	+++		---	++
Bunte	-	++	+	++	++		-	++
Traccianti	--	---	++	++	++	++	++	-
Geofono	++	---	+++		---		+++	--

Tabella 4.3: *Vantaggi (+ + + molto positivo) e svantaggi (--- molto negativo) dei diversi metodi di monitoraggio del trasporto solido al fondo (First Sedalp Milestone, 2013 REF DA AGGIUNGERE IN LISTA)*

4.3 Monitoraggi ad hoc

Il presente capitolo intende fornire un quadro sintetico e riassuntivo sui principi generali da adottare per il monitoraggio dei processi di trasporto solido in occasione di operazioni di trasferimento a valle del sedimento presente nei serbatoi idroelettrici, ovvero fluitazioni e spurghi.

4.3.1 Cosa misurare?

Idealmente, dovrebbero essere monitorate sia la frazione trasportata al fondo che quella in sospensione. Tuttavia, in molti serbatoi la frazione grossolana presente o comunque mobilizzabile dalle operazioni potrebbe essere molto contenuta. In questi casi può essere accettabile – soprattutto nel caso di corsi d'acqua che presentino difficoltà logistiche per la misura strumentale del trasporto al fondo – limitarsi all'utilizzo di strumentazione finalizzata al monitoraggio del trasporto in sospensione, e valutare entità e conseguenze del trasporto solido al fondo tramite un monitoraggio morfologico/sedimentologico.

In ogni caso, misure di granulometria dello strato superficiale e valutazioni sul grado di colmatazione dello stesso sono da effettuarsi sempre. Nel caso di operazioni su serbatoi in cui la frazione grossolana è rilevante, è invece necessario adottare anche un piano di monitoraggio strumentale del trasporto solido al fondo, che andrà ad integrarsi con i risultati derivanti dal monitoraggio morfologico.

Inoltre, i campionamenti dei sedimenti presenti nell'invaso prima delle operazioni sono da prevedersi subito prima l'operazione, al fine di caratterizzare i depositi in termini di peso specifico e granulometria, alla scala spaziale adeguata a cogliere la variabilità longitudinale, laterale e verticale presente nei depositi. Infine, è fondamentale che la portata liquida rilasciata attraverso lo sbarramento sia misurata o stimata in modo affidabile per tutta la durata delle operazioni.

4.3.2 Come misurare?

I diversi approcci e strumenti utilizzabili per il monitoraggio del trasporto solido sono stati descritti nei paragrafi precedenti. Qui è importante sottolineare come sia fondamentale effettuare numerose misure dirette atte a calibrare i sensori, sia per il trasporto in sospensione che al fondo. Per il trasporto in sospensione è fondamentale l'utilizzo di campionatori isocinetici e la successiva analisi di laboratorio tramite filtratura e pesatura, al fine di ottenere delle curve di calibrazione per ogni sensore che relazionino la sua misura indiretta in continuo (NTU nel caso di torbidimetri) alla concentrazione solida espressa in mg/l. Nel caso di misure del trasporto solido al fondo, l'utilizzo di trappole portatili operate da camion-gru è probabilmente la soluzione più facilmente adottabile.

Per quanto riguarda le analisi granulometriche, l'utilizzo di rilievi fotografici ad alta risoluzione da drone – che permettono successivamente l'applicazione di tecniche di "photo-sieving" – rappresenta un'ottima strategia nel caso di alvei in cui la porzione coperta dall'acqua sia trascurabile. In caso contrario, è invece necessario condurre i tradizionali campionamenti numerali, a reticolo od in linea a seconda delle dimensioni laterali del tratto.

Per il monitoraggio morfologico del tratto in esame, esistono diverse soluzioni – in continua evoluzione – a seconda delle condizioni idromorfologiche e delle risorse disponibili. L'utilizzo di rilievi LiDAR batimetrici rappresenta la soluzione ideale in corsi d'acqua in cui la componente emersa sia ridotta, dove le profondità del flusso siano $< 3-5$ m ed in assenza di forte aerazione del flusso. Tuttavia, tali rilievi sono ancora impegnativi in termini di costo. L'utilizzo di rilievi LiDAR "terrestre" o di fotogrammetria digitale tramite l'uso di droni o velivoli con pilota è sicuramente perseguibile invece negli alvei in cui la porzione emersa sia rilevante, nel caso integrando con tecniche topografiche tradizionali a guado/a barca le aree bagnate.

4.3.3 Dove misurare?

Di notevole importanza è l'effettuazione di due rilievi topo-batimetrici ad alta risoluzione dell'invaso immediatamente prima e dopo l'operazione. Il loro confronto permetterà di ottenere la stima più affidabile (con incertezze nell'ordine del 2-5%) del volume d'invaso recuperato grazie all'operazione. Da questo, la stima del volume e della massa dei sedimenti rimossi è ricavabile facilmente, ma è importante riconoscere l'incertezza aggiuntiva derivante dalla possibile elevata variabilità spaziale di porosità dei depositi.

A valle dello sbarramento, andranno installate un numero adeguato di stazioni temporanee per il monitoraggio in continuo del trasporto solido in sospensione e nel caso anche del trasporto al fondo. Il numero di stazioni dipende da molti fattori, primariamente la lunghezza del tratto di interesse (l'onda solida rilasciata può risultare molto rilevante fino a decine di km a valle dello sbarramento), la presenza di tributari/confluenze importanti, e non ultimo le risorse umane/economiche disponibili per le attività di monitoraggio. La prima stazione va posizionata da qualche decina a poche centinaia di metri a valle dello sbarramento, in ogni caso non prima che si sia instaurato un buon mescolamento della componente solida nel flusso idrico. Almeno una seconda stazione di monitoraggio è da predisporre qualche chilometro a valle della prima sullo stesso corso d'acqua, ed almeno una stazione dovrebbe essere posta nel corso d'acqua maggiore ricevente quello su cui insiste l'invaso, a valle della loro confluenza rispettando sempre una distanza che garantisca il mescolamento. Idealmente, presso ogni stazione sarebbe consigliabile duplicare la strumentazione, ovvero questa dovrebbe essere ridondante al fine di limitare i problemi derivanti da malfunzionamenti e danni agli strumenti, molto frequenti in caso di operazioni importanti.

Le sezioni presso cui installare gli strumenti per la misura in continuo del trasporto solido devono essere stabili in senso planimetrico ed altimetrico per evitare che i sensori si trovino o emersi o coperti da sedimento a seguito di variazioni di quota del fondo, e dovrebbero presentare caratteristiche idrodinamiche non estreme in termini di velocità del flusso e di turbolenza. L'installazione delle sonde sulle sponde/in alveo dovrebbe essere sempre condotta sovradimensionando lo spessore delle protezioni e gli ancoraggi, in quanto operazioni di lunga durata possono portare a condizioni di forte sollecitazione di tutte le componenti. Sponde sub-verticali in roccia solida od in massi ciclopici/calcestruzzo rappresentano la miglior localizzazione per il fissaggio di sonde torbidimetriche, mentre le opere trasversali presenti in alveo quali soglie di fondo o briglie (meglio se di larghezza contenuta) rappresentano i siti ideali per l'installazione temporanea di sensori per il trasporto al fondo. In assenza di

tali opere trasversali, il monitoraggio del trasporto al fondo può risultare molto complesso e poco affidabile, e quindi in molti casi sconsigliabile. In ogni caso, la localizzazione dei sensori per il trasporto in sospensione ed al fondo va sempre attuata considerando la necessità di effettuare le misure dirette di calibrazione; è quindi necessario che gli strumenti installati siano facilmente raggiungibili.

4.4 Costi del monitoraggio

I costi che è necessario sostenere per effettuare una campagna di misura dipendono sia dai parametri da monitorare che dalla lunghezza del/dei tratto/i di corso d'acqua interessati dalle misure stesse. Di seguito è riportata una rassegna di costi indicativi per le principali attività di monitoraggio dei trasporto solido in alvei naturali.

Misure di torbidità

Il costo del noleggio di una sonda torbidimetrica si attesta circa €1000-1500/settimana; oltre al costo del noleggio, è importante considerare anche i costi dell'installazione e la manutenzione periodica degli strumenti installati. In un alveo naturale si possono osservare condizioni idrodinamiche estreme, sia dovute alle piene naturali che a manovre di fluitazione/slucicing ecc. È importante prevedere installazioni sufficientemente robuste da evitare la perdita degli strumenti. Il costo dell'installazione dipende dalla severità delle condizioni idrodinamiche attese, dalle dimensioni del corso d'acqua e dall'accessibilità del sito di monitoraggio. I costi possono ragionevolmente ricadere all'interno dell'intervallo €1000-4000 per ogni sito di misura.

Ad esempio, la strumentazione necessaria per una campagna di misura di un mese, condotta con tre torbidimetri ha un costo complessivo (installazione e noleggio) di circa 12000-20000€.

Misure di concentrazione di sedimenti in sospensione

Le misure dirette di concentrazione dei sedimenti in sospensione vengono effettuate mediante il prelievo, con campionatori isocinetici, di bottiglie di acqua-sedimenti, che successivamente vengono analizzate.

Il costo delle operazioni di prelievo dei campioni è stimabile come costo del personale impiegato in campo, secondo le tariffe orarie applicate dalla società che si occupa delle misure. Il costo del campionatore isocinetico è di poche centinaia di Euro.

Misura di concentrazione volumetrica

Dopo aver prelevato il campione esso può essere analizzato con un cono Imhoff, per misurare la concentrazione volumetrica (ml/l). In questo caso, il costo della strumentazione è trascurabile, mentre il tempo di analisi indicato dalla normativa è pari a 30 minuti, di conseguenza il costo.

Misura di concentrazione in massa

La misura della concentrazione in massa (mg/l) viene eseguita in un laboratorio specializzato, mediante filtratura, asciugatura in forno e pesatura dei campioni raccolti. Il costo per ciascuna misura gravimetrica è pari a circa 30-60€; prezzi più bassi sono generalmente applicati in presenza di numerosi campioni.

Misure idrometriche

Il costo del noleggio di un sensore di livello si attesta in circa 500-800€/settimana. In commercio sono disponibili sonde multi-parametriche, per il monitoraggio contemporaneo del livello idrometrico, torbidità, conducibilità e temperatura dell'acqua. Il costo del noleggio di una sonda multiparametrica è generalmente più basso del costo del noleggio di più sonde mono-parametro. È pertanto conveniente utilizzare questo tipo di sonde per raccogliere un data-set completo a un costo ragionevole.

Per l'installazione delle sonde multiparametriche valgono le stesse raccomandazioni date per le sonde torbidimetriche.

Misure dirette di trasporto solido al fondo

Le misure dirette di trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua alpini si effettuano utilizzando una trappola per sedimenti, che viene calata in alveo con l'ausilio di un camion-gru. La trappola viene mantenuta sul fondo del corso d'acqua per alcuni minuti (tempo solitamente variabile da 5 a 30'), successivamente svuotata ed il sedimento intrappolato viene pesato ed eventualmente vagliato per la misura della curva granulometrica.

Il costo della trappola per la misura del trasporto solido al fondo è pari a circa 2,000-4,000€; il costo complessivo di una giornata di misura di aggira intorno a 3,000-5,000€ a seconda della dimensione del camion gru necessario e del personale impiegato. Per effettuare le misure sono necessari almeno 3 operatori. Durante una giornata di misura si possono completare 10-20 campionamenti.

Misure in continuo di trasporto solido al fondo

Nei corsi d'acqua alpini la tecnologia più adatta alla misura in continuo del trasporto solido al fondo è quella delle piastre geofoniche, attualmente utilizzata in due sezioni idrometriche in Provincia di Bolzano (Gadera a Mantana e Rio Solda a Ponte Stelvio), in numerose sezioni idrometriche in Austria (Rofenache, Ache, Ruetz, Fischbach, Urslau, Isel, Drau, Suggadin) e Svizzera (Schweibbach, Riedbach, Navisence, Spissbach, Erlenbach, Vogelbach).

Il costo dei geofoni a piastra è relativamente semplice da stimare, perché il sistema è modulare; un modulo di larghezza pari a 4 m, contenente 8 piastre geofoniche e relativo sistema di acquisizione dei dati ha un costo di circa 20,000-25,000€. Siccome le piastre geofoniche vengono installate lungo una sezione trasversale questo costo si riferisce alla strumentazione necessaria su un torrente largo 4 m.

Il costo dell'installazione di geofoni a piastra dipende in maniera significativa dalla larghezza

del corso d'acqua da monitorare e dalla presenza o meno di una briglia (o una soglia) sulla quale poter installare la strumentazione. Ad esempio, l'installazione di piastre geofoniche su un corso d'acqua in cui sia presente una briglia richiede un intervento della durata complessiva di pochi giorni visto che non è necessaria la realizzazione di opere civili. Al contrario, nel caso in cui nel corso d'acqua non sia presente alcuna opera trasversale su cui ancorare la strumentazione, è necessaria la costruzione di una soglia, con la conseguente deviazione del torrente e l'apertura di un cantiere di dimensioni adeguate. Il costo complessivo dipende dall'accessibilità del sito, dai costi della deviazione del corso d'acqua e della progettazione e costruzione dell'opera.

5 Impianti idroelettrici esistenti

5.1 L'energia idroelettrica nelle Alpi

L'energia idroelettrica rientra tra le energie rinnovabili. La sua produzione è priva di emissioni e non ha effetti negativi sul clima. Tuttavia, considerando l'ambito ecologico alla scala del corso d'acqua, lo sfruttamento dell'energia idroelettrica può comportare anche grandi alterazioni e interventi a carico del sistema idrografico. Interi ecosistemi possono infatti essere distrutti in modo irreversibile (Haubner, 2002).

Una gestione moderna della risorsa idroelettrica si pone l'obiettivo di trovare un utilizzo sostenibile della risorsa idrica, che consenta da un lato la produzione di energia e dall'altro assicuri il benessere dell'ambiente naturale sfruttato.

Nelle Alpi il continuum fluviale è interrotto più volte dalla presenza di sbarramenti artificiali a scopo idroelettrico. Il territorio alpino offre infatti i requisiti ideali per la produzione e la trasformazione di energia, e questo ha determinato un forte ampliamento delle centrali idroelettriche esistenti. Di seguito viene illustrato, a titolo di esempio, lo sfruttamento della risorsa idroelettrica nella Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) e in Regione Lombardia.

5.2 Impianti idroelettrici in Alto Adige

L'Alto Adige è una regione montana, che include parte delle Alpi centrali, delle Alpi orientali e delle Dolomiti. Le caratteristiche principali dell'area in esame sono riassunte in Tabella 5.1. La sua orografia consente un ampio utilizzo della risorsa idrica a scopo idroelettrico. La Provincia Autonoma di Bolzano conta in totale 980 centrali idroelettriche e 1.312 condot-

Superficie [km ²]	7.400
Quota max [m s.l.m.m.]	3.905
Quota min [m s.l.m.m.]	200
Superficie glaciale [km ²]	109
Superficie glaciale [%]	1,47%

Tabella 5.1: *Quadro riassuntivo delle caratteristiche generali della Provincia Autonoma di Bolzano*

te (Figure 5.1, 5.2 e 5.3). La suddivisione in dettaglio è mostrata nelle Tabelle 5.2 e 5.3. Gli impianti presenti lungo il reticolo idrografico della provincia interagiscono con i flussi di sedimenti presenti nei corsi d'acqua, che ne condizionano il funzionamento. Il tema della

gestione sostenibile dei sedimenti in questi impianti è di rilevante importanza anche in provincia di Bolzano, in particolare negli impianti ubicati lungo i fondivalle, caratterizzati da flussi elevati di sedimento e volumi di accumulo relativamente ridotti. I principali serbatoi pre-

Tipologia di centrale	Numero
Grandi Dimensioni (potenza > 3 MW)	20
Medie Dimensioni (220 kW < potenza < 3.000 kW)	141
Piccole Dimensioni (potenza < 220 kW)	819
TOTALE	980

Tabella 5.2: *Tipologia e numero di centrali idroelettriche distribuite nel territorio altoatesino*

Condotte	Numero
Lunghezza condotta: 0,12 km < L < 1 km	946
Lunghezza condotta: 1 km ≤ L < 5 km	332
Lunghezza condotta: 5 km ≤ L < 27 km	34
TOTALE	1.312

Tabella 5.3: *Tipologia e numero di condotte a scopo idroelettrico distribuite nel territorio altoatesino*

senti in Alto Adige, relative caratteristiche e centrale alimentata vengono elencati in Tabella 5.4, mentre in Figura 5.4 è riportata la classificazione dei principali grandi impianti, secondo l'approccio di Kondolf e altri (2014). In ascissa è indicato il rapporto fra il volume dell'invaso e quello delle piogge medie annue. In ordinata è indicato il rapporto fra il volume dell'invaso e la produzione media annua di sedimenti del bacino idrografico che lo alimenta. Quindi nella parte sinistra del grafico si trovano i punti che rappresentano invasi a regolazione giornaliera o traverse fluviali, mentre nella parte destra si trovano gli invasi a regolazione stagionale o pluriennale. Nella parte alta del grafico si trovano gli invasi che sono poco soggetti ai fenomeni di interrimento, perché il loro volume è molto maggiore di quello dei sedimenti che mediamente ogni anno raggiungono l'invaso stesso. Al contrario nella parte bassa del grafico si trovano tutti gli invasi che soffrono dei problemi di interrimento, e che potenzialmente richiedono frequenti interventi di ripristino del volume. Si può notare come in provincia di Bolzano siano diversi gli impianti soggetti a problematiche di interrimento, che richiedono una corretta strategia di gestione, in particolare: Rio Pusteria, Fortezza, Selva dei Molini, bacino e traversa di Lasa, traversa di Tell. I punti relativi agli sbarramenti di Corvara, Sesto, Vizze, Valdurna e Premesa si riferiscono a traverse fluviali sulle quali vengono generalmente effettuate molto frequentemente operazioni di gestione dei sedimenti.

ID	Nome serbatoio	Anno costruzione	Volume originario [m ³]	Tipo regolazione	Centrale alimentata
1	Sesto	1940	106.000	settimanale	GD/66
2	Gioveretto	1956	19.980.000	stagionale	Lasa
3	Diga di Vernago	1956	43.100.000	stagionale	Naturno
4	Selva dei Molini	-	89.000,00	settimanale	Molini di Tures
5	Monguelfo	1958	6.100.000	settimanale	Brunico
6	Fortezza	1940	1.530.000	settimanale	Bressanone
7	Rio Pusteria	1940	1.500.000	settimanale	Rio Pusteria e Bressanone
8	Lasa (solo traversa)	1949	-	traversa	Lasa e Glorenza
9	Tel	1897	-	traversa	Tel e Marlengo
10	Neves	1972	14.370.000	stagionale	Lappago
11	S. Valentino	1950	112.000.000	stagionale	Castelbello
12	Lago Verde	1967	6.638.000	stagionale	Pracupola
13	Zoccolo	1957	35.100.000	stagionale	S. Valburga
14	Quaira	1968	12.400.000	stagionale	Pracupola
15	Alborelo	1954	3.050.000	settimanale	S. Pacrazio
16	Auna	1951	368.000	settimanale	S. Antonio
17	Fontana Bianca	1959	1.250.000	settimanale	Pracupola
18	Lago della Mutta	1965	1.580.000	settimanale	Castelbello
19	Bacino di Vizze	1926	200.000	settimanale	Val di vizze
20	T. Colma	fine anni '20	290000	traversa	Cardano
21	Traversa di Funes	anni 30	130000	traversa	Ponte Gardena
22	Vasca di Marlengo	-	6000	traversa	Marlengo
23	Vasca di Melago	-	80000	traversa	Curton
24	Premesa 1	1953	16.000	traversa	Prembach
25	Premesa 2	1953	30.000	traversa	Prembach
26	Vasche di Sluderno	-	400000	traversa	Lasa
27	Vasca di Valdurna	inizio anni '60	50000	traversa	Sarentino
28	Vasca di Corvara	inizio anni '60	97000	traversa	Sarentino

Tabella 5.4: *Elenco dei principali serbatoi presenti in Alto Adige, anno di costruzione e volume originario degli stessi, tipologia di regolazione e indicazione della/e centrale/i alimentata/e*

Grandi centrali idroelettriche nel territorio altoatesino

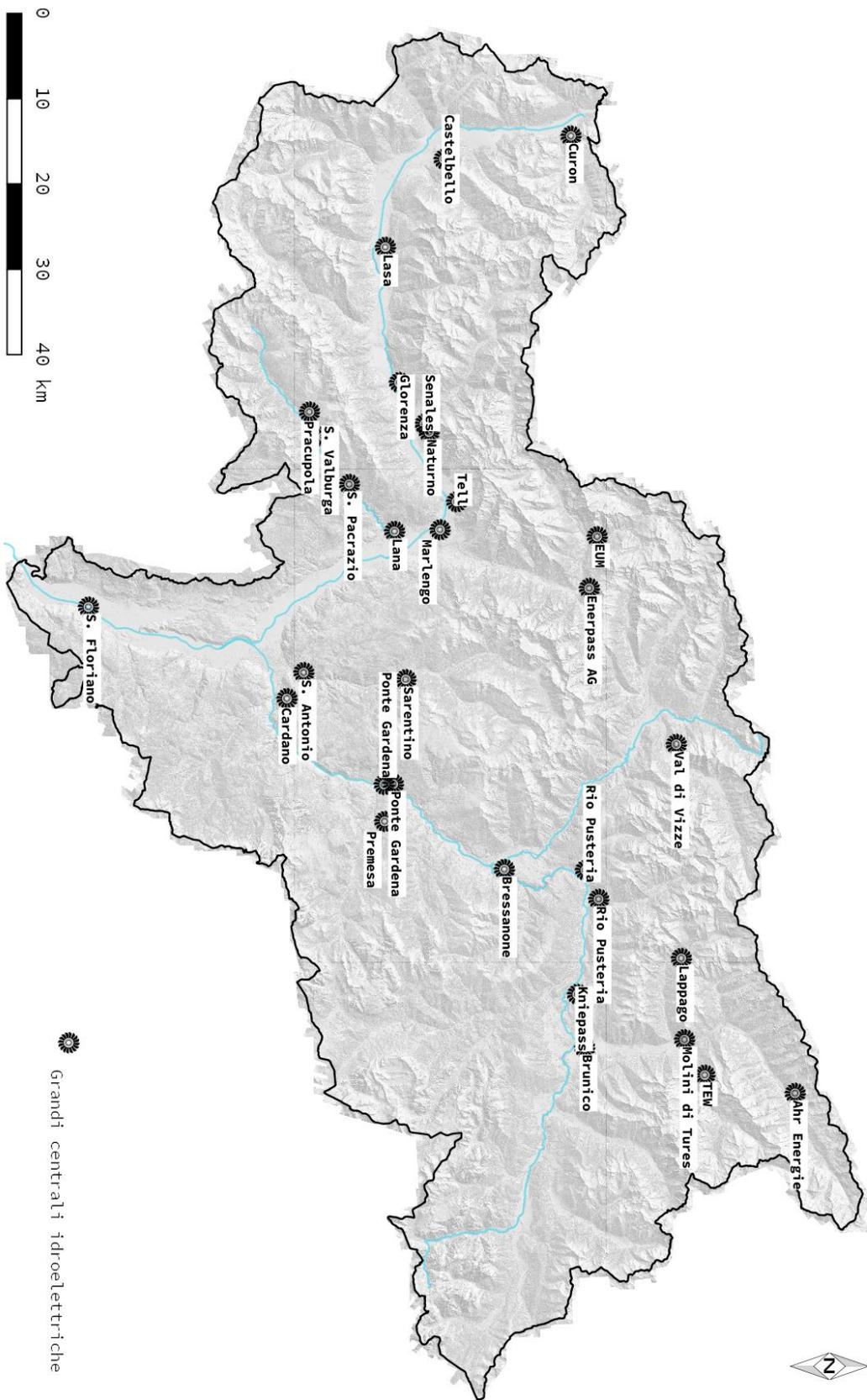


Figura 5.1 : Grandi centrali presenti in Alto Adige

Grandi centrali idroelettriche, principali condotte e punti di derivazione nel territorio altoatesino - zona ovest

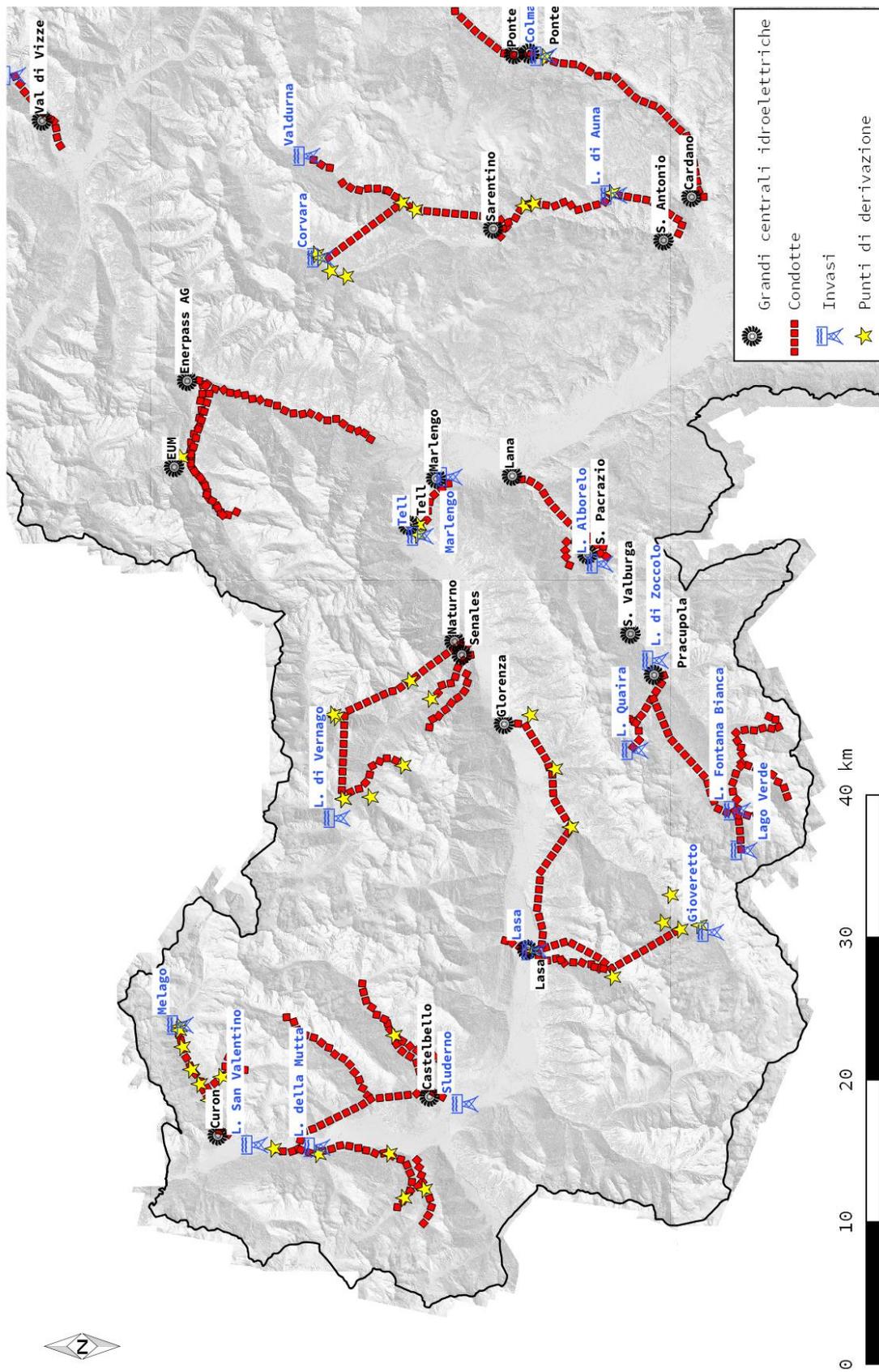


Figura 5.2: Grandi centrali, principali condotte e punti di restituzione presenti nella zona ovest della PAB

Grandi centrali idroelettriche, principali condotte e punti di derivazione nel territorio altoatesino – zona est

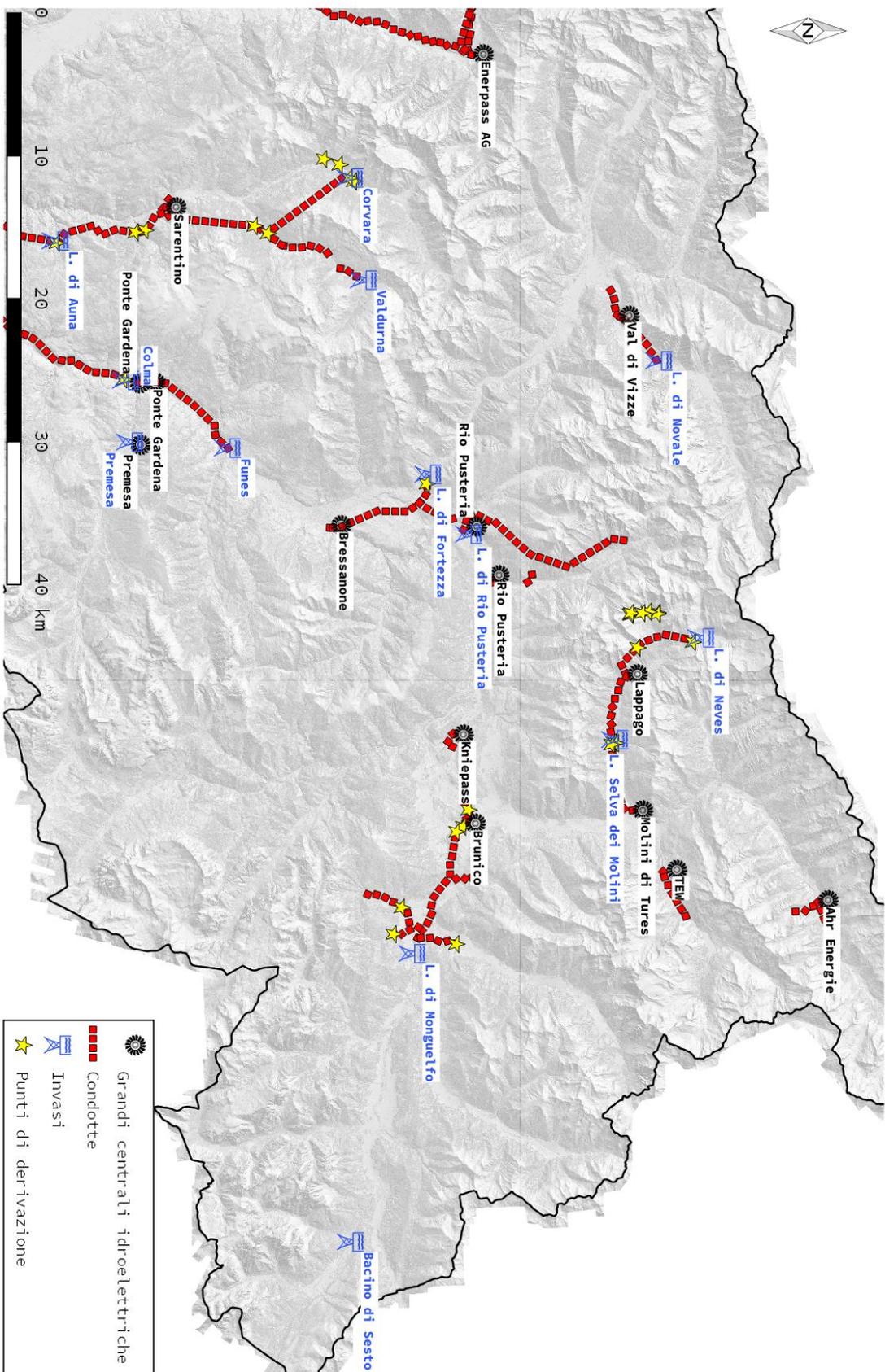


Figura 5.3: Grandi centrali, principali condotte e punti di restituzione presenti nella zona est della PAB

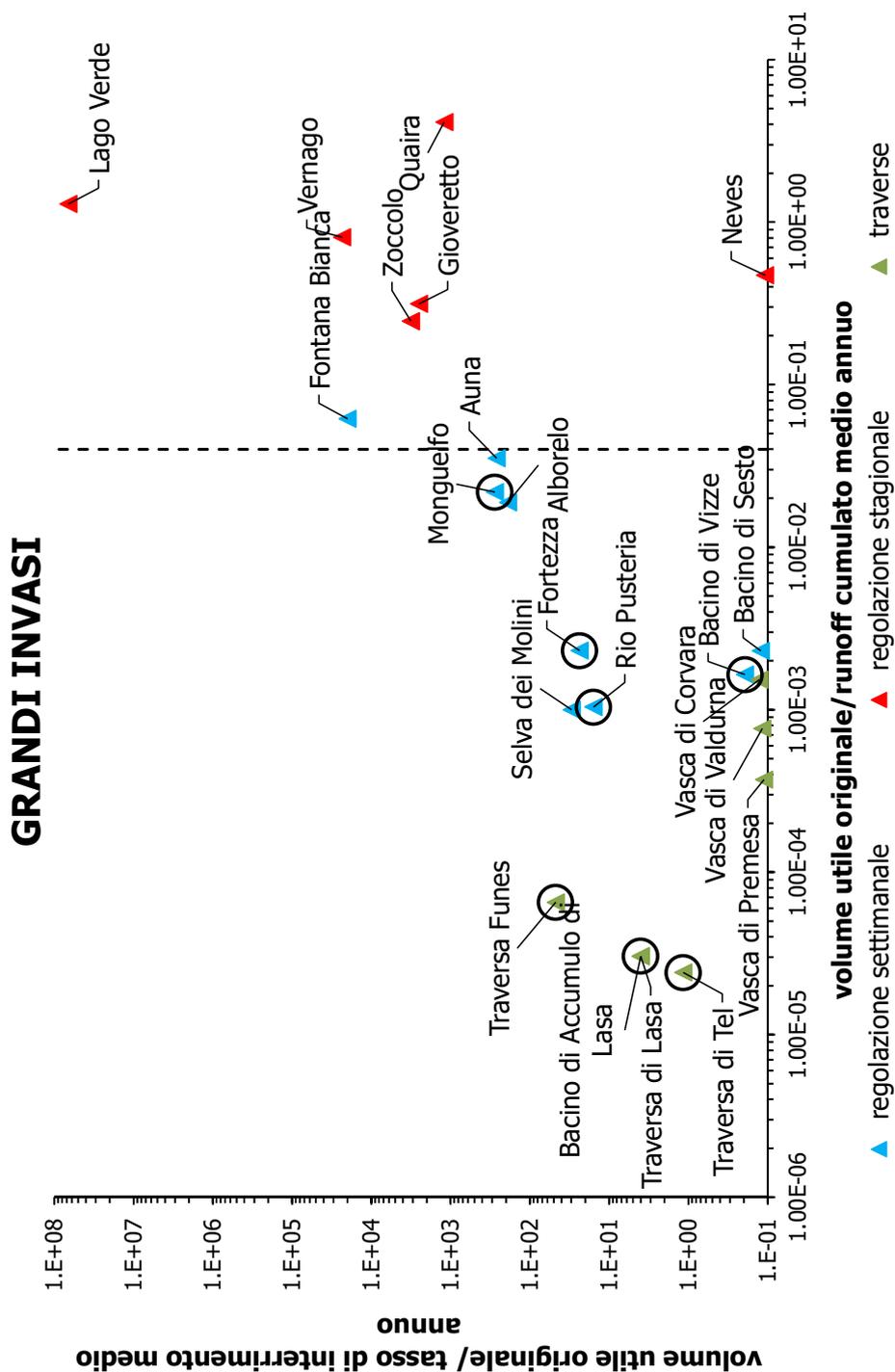


Figura 5.4: La classificazione dei principali grandi impianti idroelettrici della Provincia Autonoma di Bolzano, secondo l'approccio proposto da Kondolf e altri (2014)

5.2.1 Impianti ad acqua fluente

5.2.1.1 Traversa fluviale di Lasa sull'Adige

La traversa fluviale di Lasa (figura 5.5) è parte integrante dell'opera di presa dell'impianto idroelettrico di Castelbello in Val Venosta. A monte della traversa si trova, in destra orografica, l'opera di derivazione che porta parte della portata defluente lungo l'Adige all'opera di adduzione principale e da qui alla centrale idroelettrica di Castelbello. L'opera di sbarramento è costituita da una traversa a tre luci ed è lunga complessivamente ca. 34 m. A monte dello sbarramento si crea quindi una zona di rigurgito a bassa velocità con una capacità di circa 22.000 m³, che favorisce il deposito del materiale fine trasportato. Il conflitto nasce dal fatto che il Fiume Adige, in particolare nei periodi di morbida e nel periodo estivo, è caratterizzato da un notevole trasporto solido proveniente dai vari ghiacciai presenti nella vallata che tende inesorabilmente a depositarsi a monte della traversa.



Figura 5.5: La traversa fluviale sull'Adige a Lasa

Tale materiale viene periodicamente rimosso meccanicamente dopo aver aperto le due paratoie a servizio dell'opera di presa, una parte del materiale viene trasportata a valle dello sbarramento e si deposita lungo il corso vallivo del Fiume Adige. Le operazioni di rimozione meccanica secondo quanto comunicato da Alperia vengono ripetute mediamente ogni 2-4 anni. Nel 2010 è stata rimossa una quantità pari a 6.000 m³ di materiale, nel 2013 e nel 2015 il materiale è stato rimosso anche a monte della zona di rigurgito per un totale di rispettivamente 22.000 e 26.000 m³.

La gestione di quest'opera è particolarmente difficoltosa ed è sempre stata oggetto di discussione e confronto con gli Enti Provinciali preposti. Questa situazione, soprattutto relativamente alle modalità di apertura delle paratoie con conseguente scarico a valle, non ha permesso di redigere in modo condiviso il "Piano di Gestione Svasi" come previsto dai D.Lgs. 152/06 – L.P. 8/02 – D.P.P. 21/01/2008 nr. 6. Tali confronti avevano come tema la scarsa qualità del fiume nel tratto Lasa /Covelano, le improvvise e brevi oscillazioni di livello,

nonché lo scarico improvviso a valle di sedimento durante eventi particolari.

Da un'elaborazione dei dati disponibili effettuata nell'ambito dell'elaborazione del progetto di protezione dalle piene dell'abitato di Lasa (Figura 5.6) si evince chiaramente l'effetto di deposizione ed inghiaamento del fondo alveo, imputabile sia alla presenza dello sbarramento che al profilo morfologico del Fiume Adige in tale tratto. La traversa è stata infatti posizionata al termine del lungo plateau che da Glorenza porta a Lasa con pendenze anche inferiore a 1% che inducono anche in modo naturale la deposizione del materiale. Da quanto riportato in Figura 5.6, si nota come la deposizione del materiale solido si estenda ben oltre la zona di rigurgito (fino al ponte della zona industriale). Si nota altresì l'estrema fluttuazione delle quote di fondo alveo in prossimità dello sbarramento in relazione agli interventi di rimozione effettuati. Nella seconda metà del mese di maggio 2010 il Gestore ha effettuato uno svaso

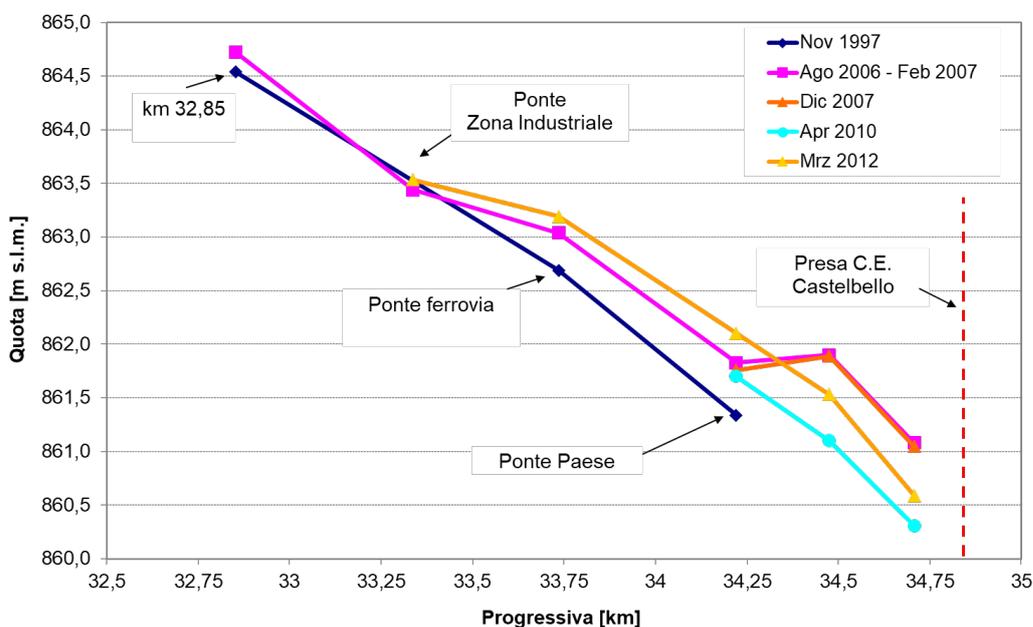


Figura 5.6: Fluttuazioni del fondo alveo lungo il Fiume Adige a monte della traversa di Lasa

del bacino che ha comportato un forte incremento del deflusso idrico nel tratto sotteso del fiume, normalmente derivato e soggetto ad un regime di deflusso minimo vitale (DMV), e contestualmente una movimentazione del materiale alluvionale in esso accumulato ed un conseguente intorbidimento dell'acqua a valle. A seguito delle operazioni di apertura e rimozione meccanica del 2010, si è osservato il depositarsi di parte dei sedimenti rilasciati nel tratto di fiume compreso fra le due serie di briglie presenti fra la traversa di Lasa e l'abitato di Covelano. Il tratto interessato dai depositi misurava complessivamente ca. 3.500 m. Il diametro caratteristico del materiale rimosso è illustrato in Figura 5.9. Per consentire il monitoraggio costante (con relativa registrazione dei dati) della torbidità dell'acqua rilasciata nel corso delle operazioni del 2010 è stata installata immediatamente a valle della confluenza con il rio Lasa qualche centinaio di metri a valle della traversa, una stazione torbidimetrica con sensore SOLITAX.



Figura 5.7: I banchi di ghiaia depositati a monte della traversa di Lasa



Figura 5.8: Materiale solido sedimentato lungo l'Adige a valle della traversa di Lasa

Focalizzando l'attenzione su quanto effettuato nel 2010, dal rapporto limnologico risulta che la risposta allo stress originato dalle "specifiche" manovre idrauliche è evidente nel caso del macrozoobenthos. Lo svaso ha prodotto una decisa contrazione della popolazione di invertebrati senza però modificarne la composizione tassonomica. È da ritenere che la riduzione della densità di popolazione del benthos abbia causato per alcune settimane/mesi una corrispettiva limitazione della disponibilità alimentare per la fauna ittica. Nel caso della popolazione ittica, si è assistito ad una modificazione apprezzabile, seppure meno netta che nel caso del benthos.

Successivamente, il Gestore ha avviato dettagliate attività di ricerca, centrate sulla durata e la velocità delle aperture, e sulla quantificazione delle portate rilasciate a valle, al fine di minimizzare gli impatti sugli ecosistemi di valle. Date le peculiarità ravvisate, si ritiene importante citare il caso della traversa di Lasa come rappresentativo di alcune delle problematiche comuni nella gestione dei sedimenti in provincia di Bolzano.

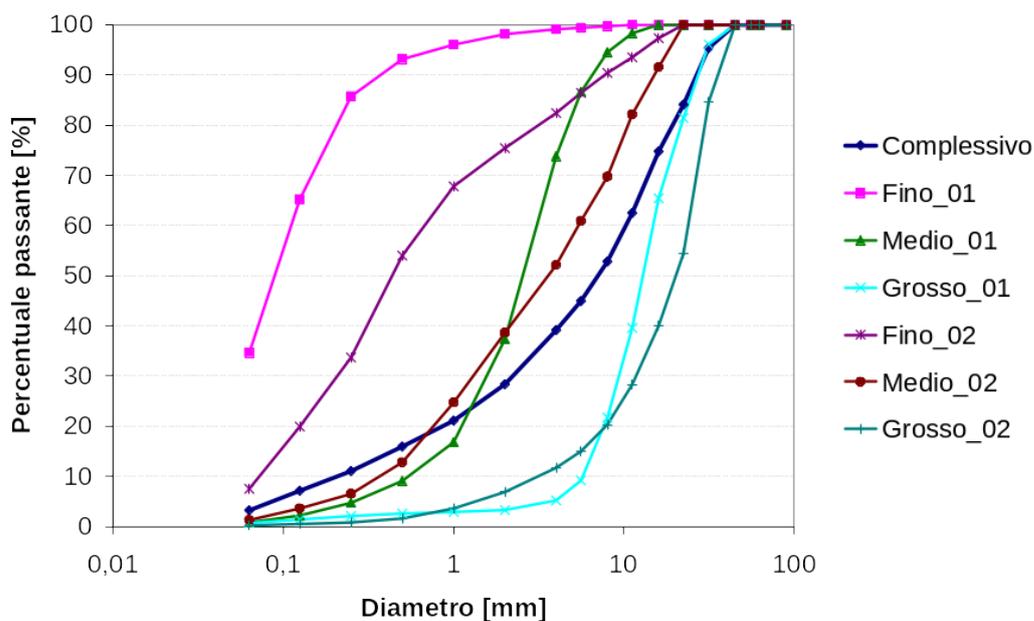


Figura 5.9: Distribuzioni granulometriche del materiale costituente i depositi in Adige a monte della traversa di Lasa



Figura 5.10: Le operazioni di rimozione meccanica del 2010 presso la traversa di Lasa

5.2.1.2 Vasca di accumulo di Sluderno

Esistono altre situazioni in provincia di Bolzano che meritano di essere citate in questa sede, data la peculiare situazione legata alla gestione del materiale solido con cui i Gestori devono fare i conti. È il caso ad esempio della vasca di Sluderno (figure 5.12 e 5.13), un bacino di compensazione che raccoglie le acque turbinate dall'impianto idroelettrico di Glorenza e serve a rimodulare il rilascio dei volumi turbinate in alveo, prima nel Rio Puni e successivamente nel Fiume Adige, al fine di ottimizzare la produzione di punta presso l'impianto di Castelbello. Originariamente la vasca, realizzata alla fine degli anni '40 del secolo scorso,



Figura 5.11: A sinistra un esempio di cono Imhoff utilizzato per i monitoraggi; a destra il torbidimetro installato dal Gestore a valle dello sbarramento di Lasa

aveva un volume complessivo di ca. 400.000 m³. Nel corso del tempo la vasca ha subito un progressivo interrimento a causa della deposizione del materiale fine trasportato a valle lungo il sistema di condotte forzate, che adducono le acque del lago di Resia e dei torrenti di Casone, Serces, Meltz, Arunda, Monte Maria, Puni e Saldura ai due gruppi generatori nella centrale di produzione, costruita in caverna. Nel 2010 la vasca conservava un volume residuo di accumulo delle acque pari a ca. 150.000 m³, con una riduzione del volume utile pari ad oltre il 60 % del volume originario. Le foto in Figura 5.13 si riferiscono alla situazione

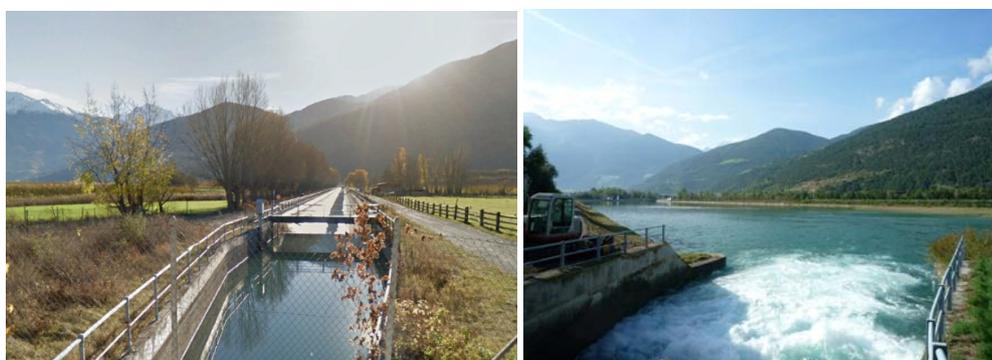


Figura 5.12: Il canale di scarico della centrale di Glorenza e la vasca di Sluderno in esercizio

riscontrata nel sito nel 2010 in seguito ad uno svasso completo della vasca ed all'interruzione temporanea della produzione dell'impianto di Glorenza. Tra il 2011 ed il 2012 è stato effettuato il primo ed unico intervento di rimozione meccanica dei sedimenti depositati nella vasca, durante il quale sono stati asportati ca. 210.000 m³ di sedimento (Figura 5.14). La pulizia effettuata non è stata totale, ma è stata lasciata volutamente nella vasca una quantità base di sedimenti. Il volume utile di accumulo post intervento ammonta a ca. 360.000 m³.



Figura 5.13: *La vasca di Sluderno nel 2010*



Figura 5.14: *La canaletta centrale formata in seguito alla svaso ed immagine dello scarico nel Fiume Adige*

Appare chiaro quindi come in queste situazioni, la gestione del materiale solido risulti per un Gestore una grande sfida, spesso collegata anche ad ingenti investimenti economici. Le dinamiche legate al trasporto in sospensione sono in questo caso inevitabilmente collegate all'esercizio stesso del sistema idroelettrico dell'Alta Val Venosta (centrali idroelettriche di Glorenza e Castelbello), pertanto risulta evidente come la rimozione meccanica sia l'unica soluzione realisticamente perseguibile per la risoluzione del problema legato alla deposizione del materiale solido nella vasca a servizio dell'impianto.

5.2.1.3 Traversa fluviale sul Rio Vizze a Novale

Un altro esempio delle difficoltà legate alla gestione del trasporto solido è rappresentato dalla diga di Novale in Val di Vizze, a servizio dell'omonimo impianto gestito da Alperia S.p.a.. Il bacino idroelettrico di Novale (1927) garantisce l'accumulo delle acque del torrente Vizze per il successivo sfruttamento idroelettrico e sottende un bacino imbrifero di ca. 111 km² la cui parte iniziale è costituita da ghiacciai. L'opera di sbarramento sul torrente Vizze, completamente ricostruita nel biennio 1997 – 98, è costituita da una traversa in calcestruzzo, con due luci di 9 m ciascuna, con soglia a 1.362,00 m s.l.m.m.. Le luci sono munite di paratoie a settore alte 4 m, con inserito un ciglio sfiorante posto alla quota di 1.365,15 m s.l.m.m.. Il comando delle paratoie è di tipo oleodinamico con centralina ubicata in un locale posto al centro del coronamento, mentre sulla sponda destra si trovano due paratoie provviste di comando manuale e motorizzato, che assolvono alla duplice funzione di scarico di fondo e di sghiaimento (Figura 5.15). La traversa crea un serbatoio artificiale la cui capacità si è ridotta, a causa del forte interrimento, a ca. 30.000 m³ (Figure 5.16, 5.17 e 5.18). L'opera di derivazione è in sponda destra ed è costituita da tre bocche di presa, di cui una invernale e due estive. Tutte le bocche di presa sono dotate di griglie di protezione, con sgrigliatore automatico e paratoie motorizzate. La galleria di adduzione è a pelo libero, ha una lunghezza di 3.764 m ed è capace di portare una portata massima di 11 m³/s. Attualmente la portata massima derivabile dal bacino è di ca. 8,3 m³/s nelle ore di maggiore produzione. Si



Figura 5.15: Paratoie a settore e bocche di presa di Novale

intuisce chiaramente come il processo di interrimento del bacino di Novale abbia provocato una notevole riduzione dei volumi utili alla produzione idroelettrica, diminuendo la capacità di invaso da 160.000 m³ del 1999 agli attuali ca. 30.000 m³ in circa 20 anni. Il materiale solido depositato all'interno del bacino presenta una distribuzione granulometrica sostanzialmente omogenea ed è descrivibile come limo grossolano misto a sabbia fine dalla notevole compattezza superficiale. La realizzazione dell'opera di sbarramento ha permesso nel corso dei decenni lo sviluppo di un'ampia zona umida a monte, ultimo residuo di una certa dimensione delle estese paludi della Val di Vizze, zona di riposo per gli uccelli acquatici (Figure 5.19 e 5.20). Individuata come biotopo con D.P.G.P. 162/V/81 del 01.02.1985 (codice EUAP 0424),



Figura 5.16: *Due immagini che testimoniano l'avanzato stato di interrimento del bacino*

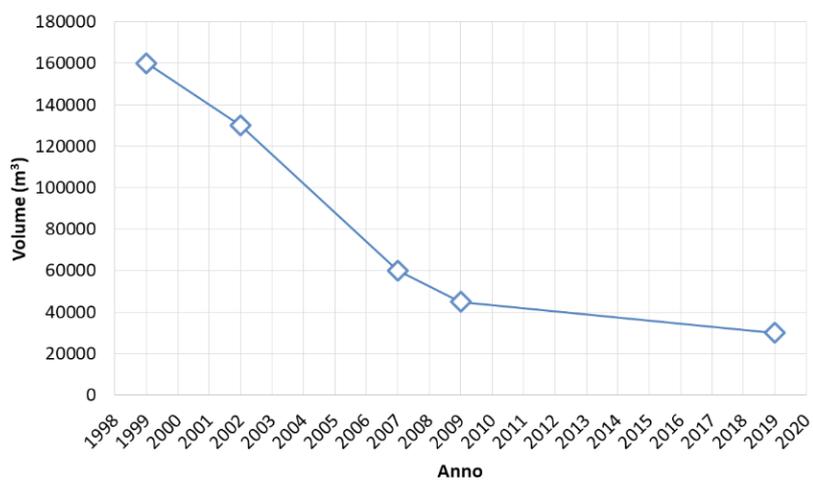


Figura 5.17: *Diminuzione della capacità di invaso del bacino a causa del forte interrimento*



Figura 5.18: *Sedimenti depositati a centro lago*

il biotopo denominato “Riederau” presenta un’estensione di ca. 16 ha e si sviluppa tra una quota minima di 1.363 m s.l.m.m. ed una quota massima di 1.372 m s.l.m.m.. La perimetrazione ufficiale del biotopo ricade parzialmente all’interno del bacino idroelettrico di Novale e ne copre circa il 60% dell’estensione originale.



Figura 5.19: *L'interdiga ed il serbatoio sul Rio Vizze a Novale*

5.2.1.4 Traversa fluviale sull'Isarco a Colma

La traversa fluviale sull'Isarco a Colma è parte dell'impianto idroelettrico di Cardano. Il bacino imbrifero di alimentazione si estende per 4.193 km², la portata massima derivabile è pari a 90 m³/s e la produzione annua media raggiunge i 659 GWh. Il salto disponibile è pari a 165 m e garantisce una potenza installata di 165 MW; la portata derivata media annua ammonta a circa 41 m³/s. La centrale è entrata in funzione il 15 settembre 1929. La traversa di Colma intercetta le acque e i sedimenti del Fiume Isarco in un tratto di bassa valle, caratterizzato da pendenza longitudinale media pari a circa 1% e una notevole capacità di trasporto dei sedimenti. Il progetto originale della traversa fluviale di Colma (Società-Idroelettrica-dell'Isarco, 1931) non prevedeva alcun dissabbiatore: le acque dell'Isarco sarebbero dovute essere deviate dall'alveo direttamente nella vasca di accumulo. Durante la costruzione, un evento di piena del fiume riempì la vasca con un deposito di limo di 10 cm di spessore e di conseguenza il progetto venne aggiornato in corso d'opera con l'inserimento di cinque



Figura 5.20: *Evoluzione della morfologia lacustre presso il bacino di Novale in Val di Vizze, anni 1989, 2000 e 2006 (Rip. Urbanistica)*

dissabbiatori lunghi 25 m. I dissabbiatori necessitano di manovre di pulizia, la cui frequenza è maggiore durante i periodi di morbida e di piena; inoltre, è necessario effettuare manovre di pulizia delle griglie di presa (il passaggio di acqua fra l'alveo dell'Isarco e dissabbiatori). Queste ultime vengono eseguite aprendo le paratoie a settore della traversa fluviale per fare in modo che il livello idrico in alveo diminuisca e di conseguenza aumenti la velocità della corrente, con la conseguente rimozione per erosione idrodinamica dei sedimenti depositati a monte delle griglie. I dissabbiatori vengono puliti utilizzando gli appositi scarichi e effettuando manovre di apertura e chiusura, per dare modo ai sedimenti di essere evacuati. Nonostante la presenza dei dissabbiatori, la vasca di accumulo è soggetta alla deposizione di quantità notevoli di sedimento fine. La complessità della gestione dell'impianto è dovuta alle caratteristiche idrodinamiche dell'opera di presa, che è stata modificata in corso di costruzione e non è ottimizzata per la gestione del sedimento in arrivo dall'Isarco. Nel corso degli anni i Gestori che si sono susseguiti hanno messo a punto una metodologia di gestione dei sedimenti, costituita da una serie di aperture e chiusure della paratoie a settore, pulizia dei dissabbiatori, interventi ad hoc nella vasca di accumulo, che complessivamente permettono il transito della quasi totalità del sedimento dell'Isarco verso valle. Le maggiori criticità si osservano quando sono in essere delle manovre di spurgo dei sedimenti dai serbatoi di Fortezza o Rio Pusteria, durante le quali la frequenza delle operazioni di pulizia in corrispondenza della traversa di Colma aumenta significativamente. In occasione di alcune operazioni di spurgo dei serbatoi posti a monte, per periodi di tempo di alcuni giorni, l'impianto di Cardano è stato messo fuori servizio e la traversa è stata mantenuta con le paratoie aperte, per evitare l'accumulo di quantità eccessive di sedimento.

5.3 Il sistema idroelettrico sul fiume Adda

Lo sfruttamento idroelettrico delle acque del Fiume Adda in Valtellina è un esempio completo delle modalità di produzione di energia utilizzate nel XX secolo. Il sistema è riportato parzialmente in Figura 5.21, per la sola parte dell'alta Valtellina, a monte di Tirano.

Le acque provenienti dalla parte più alta del bacino idrografico del fiume Adda vengono intercettate con opere di presa e canali di gronda lunghi decine di chilometri, e raccolte nel serbatoio di San Giacomo, posto a quota di circa 1.950 m s.l.m.m.. Da questo, un primo salto viene sfruttato restituendo l'acqua nel serbatoio di Cancano, posto a quota di circa 1.900 m s.l.m.m..

Le acque provenienti da Cancano alimentano la centrale di Premadio, che a sua volta scarica attraverso un canale deviatore nel serbatoio di Valgrosina. Quest'ultimo serbatoio, posto a circa 1.210 m s.l.m.m. si trova in una valle laterale in destra Adda, solcata dal torrente Roasco, che ha caratteristiche differenti da quelle della parte alta della Valtellina: infatti, non sono presenti ghiacciai e la propensione alla produzione di sedimento di questo bacino idrografico è relativamente bassa. Nel serbatoio di Valgrosina arrivano grandi quantità di sedimento fine (limo glaciale) proveniente da Cancano, che al contrario è alimentato da torrenti glaciali; inoltre, la temperatura dell'acqua scaricata a Valgrosina è più bassa di quella del torrente Roasco.

Il sistema idroelettrico più a valle vede la presenza di ulteriori quattro centrali a Grosio, Grosotto e Bocaccia, Lovero e Stazzona, costituito da un sistema complesso di canali di derivazione e traverse fluviali. A valle di Stazzona sul Fiume Adda sono presenti altri tre impianti idroelettrici, l'ultimo dei quali scarica l'acqua derivata poco a monte del lago di Como.

Dal punto di vista ingegneristico siamo di fronte a un sistema che utilizza al massimo la risorsa idroelettrica della Valtellina, con una potenza efficiente di circa 800 MW. Le centrali di Premadio, Grosio e Lovero totalizzano più del 90% dell'intera potenza installata.

Dal punto di vista della gestione sostenibile del sedimento, lo spostamento di acqua e sedimenti da un corso d'acqua ad un altro pone problematiche di difficile soluzione, in termini operativi e di impatto sull'ambiente. Si pensi ad esempio al serbatoio di Valgrosina, che fa esperienza di un flusso di acqua e sedimenti molto elevato a fronte di un apporto naturale molto più basso. In queste condizioni solo una parte delle tecniche descritte nel capitolo 3 sono applicabili, perché esse sono prevalentemente basate sulla riduzione dell'alterazione del trasporto solido lungo il corso d'acqua dove è ubicato il serbatoio.

In casi come quello della Valgrosina è ancora più marcata l'esigenza di studiare delle soluzioni specifiche, adattate a tutte le particolarità del contesto impiantistico e ambientale presente. Questo può essere effettuato mediante uno studio completo e dettagliato delle peculiarità presenti e una attenta analisi delle alternative possibili.

Sistema idroelettrico in Valtellina **A2A**



Figura 5.21: *Schema idroelettrico delle acque del sistema a2a S.p.a.*

6 Casi di studio

I casi di studio presentati in questo rapporto si concentrano entrambi lungo il corso del Fiume Rienza.

6.1 Il Fiume Rienza

Il Fiume Rienza solca la valle Pusteria scorrendo prevalentemente da est a ovest fra Dobbiaco e Rio Pusteria. Nel tratto finale il Fiume Rienza scorre in direzione sud percorrendo una forra lunga circa 13 km, profonda e quasi inaccessibile fino alla piana di Bressanone e alla confluenza con l'Isarco.

6.1.1 Bacino idrografico, idrologia e produzione di sedimento

Il Fiume Rienza drena un bacino idrografico con caratteristiche molto eterogenee. Gli affluenti provengono sia da aree dolomitiche che da creste di confine nelle quali sono presenti diversi ghiacciai (vedrette di Ries, ghiacciai di Neves, vedretta di rio Nero, vedretta di rio Torbo, vedretta di Predoi, vedretta di Lana e vedretta Rossa). Gli affluenti di sinistra, che drenano bacini dolomitici, sono responsabili della produzione di sedimenti ad elevato assortimento granulometrico (sia sedimenti fini che grossolani). Gli affluenti di destra, che provengono da bacini con presenza di ghiacciai, sono ricchi di sedimento fine, tipicamente limo, che si origina dallo scioglimento glaciale. In figura 6.1 è riportata la mappa delle precipitazioni annue sulla regione dell'EUREGIO.

6.1.2 Impianti presenti sulla Rienza

Lungo il reticolo idrografico del Fiume Rienza e dei suoi affluenti sono presenti numerosissimi impianti (in Figura 6.2 in colore fucsia sono riportate tutte le condotte di derivazione e forzate). Fra tutti gli impianti presenti, i principali sono quelli che derivano acqua dai serbatoi di Neves, Selva dei Molini, Monguelfo, Kniepass e Rio Pusteria. Le principali caratteristiche dei maggiori impianti sono le seguenti:

- **Centrale di Lappago - serbatoio di Neves:** bacino imbrifero 32,5 km², altezza diga 95 m, prese sussidiarie sui rii Val Cesa e del Passo, portata massima derivabile 5,5 m³/s, salto 591 m, potenza installata 29,84 MW, produzione annua media 73 GWh.
- **Centrale di Molini di Tures - bacino di Selva dei Molini:** bacino imbrifero 97 km², presa sussidiaria sul Rio del Ponte, salto 276 m, portata massima derivabile 7 m³/s, potenza installata 16,52 MW, produzione annua media 56 GWh.

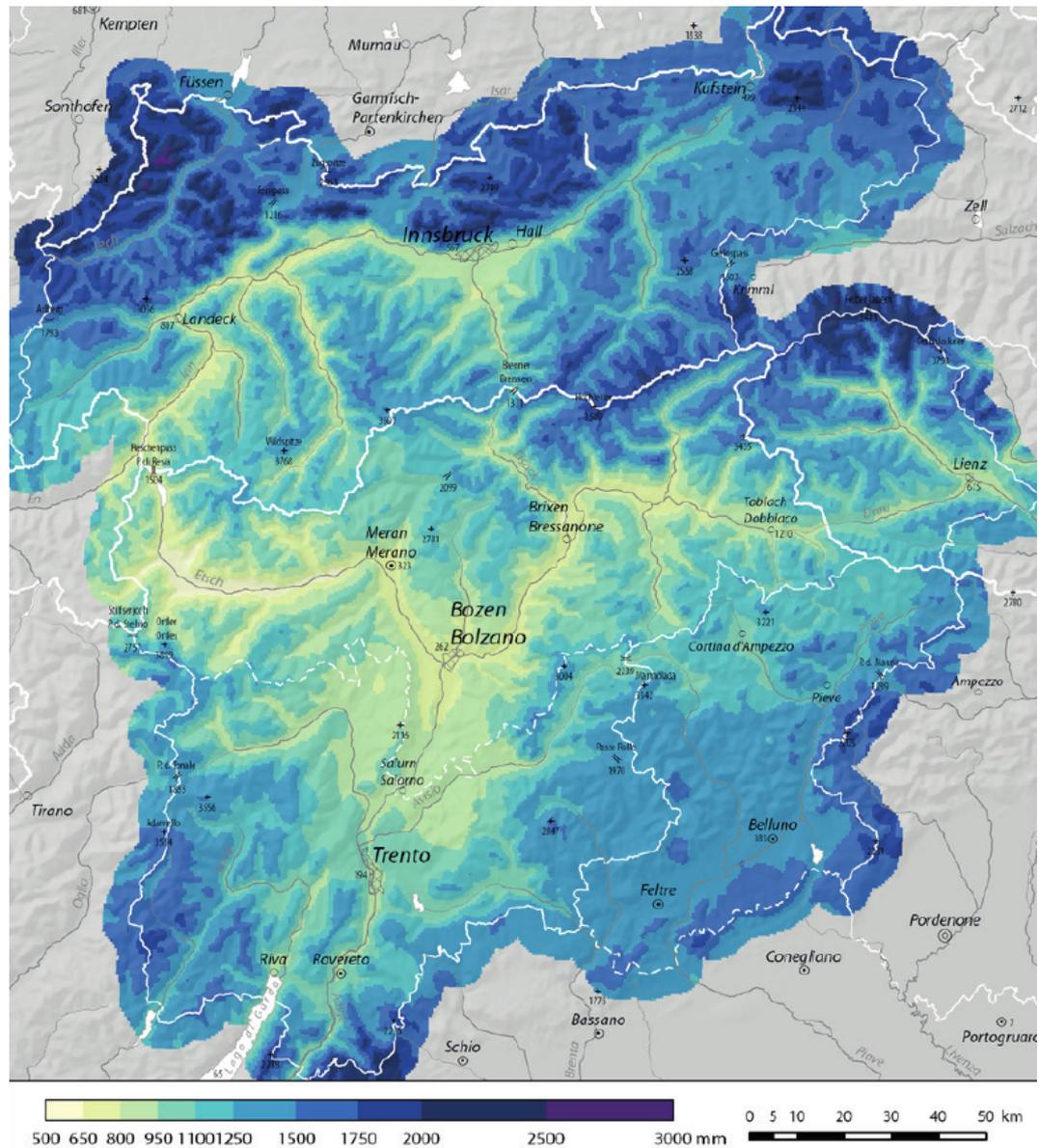


Figura 6.1: Cumulata media delle precipitazioni annue, tratto da ZAMG e altri (2015)

- **Centrale di Brunico - serbatoio di Brunico:** bacino imbrifero 588 km², altezza diga 51 m, prese sussidiarie sui rii di Anterselva, Bruns, Furcia e Villa, salto 201 m, potenza installata 42 MW, produzione annua media 151 GWh.
- **Centrale di Kniepass:** bacino imbrifero 1.694 km², salto 15 m, portata massima derivabile 70 m³/s, potenza installata 8,25 MW, produzione annua media 40 GWh.
- **Centrale di Bressanone - serbatoi di Rio Pusteria e Fortezza:** bacino imbrifero 2.700 km² (Rienza 2.030 km²), salto 164 m, , portata massima derivabile 70 m³/s, potenza installata 90 MW, produzione annua media 515 GWh.

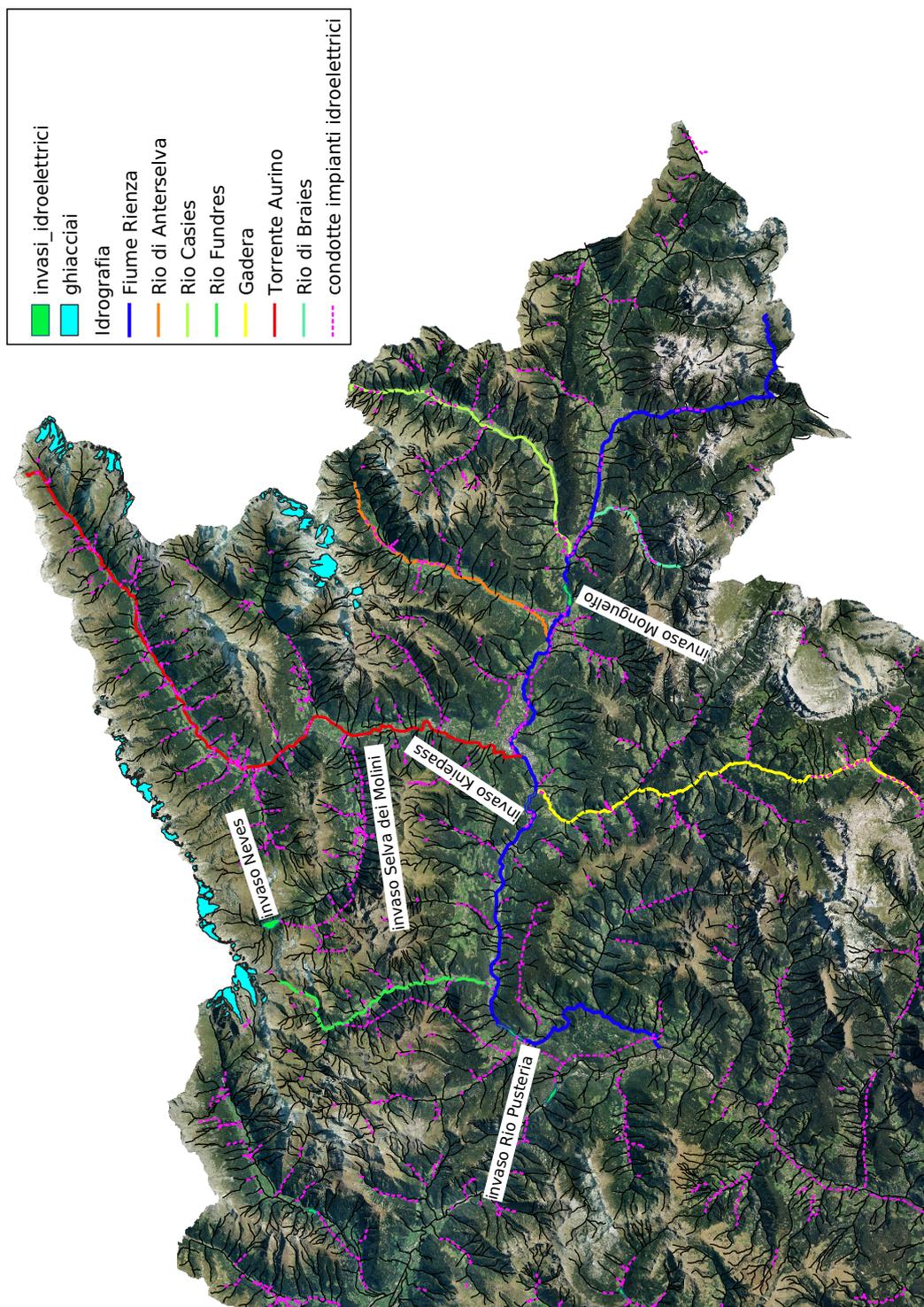


Figura 6.2: Fiume Rienza con dettaglio delle condotte forzate in fucsia

6.1.3 Dati e stazioni di misura presenti

Lungo il corso del Fiume Rienza e dei suoi affluenti sono presenti diverse stazioni idrometriche; in particolare sulla Rienza a Monguelfo, Stegona e Vandoies, sugli affluenti Gadera a Mantana, Rio Braies, Rio Casies a Colle, Rio di Anterselva a Bagni di Salomone, Aurino a Cadi Pietra, Caminata e San Giorgio, rio Riva a Caminata.

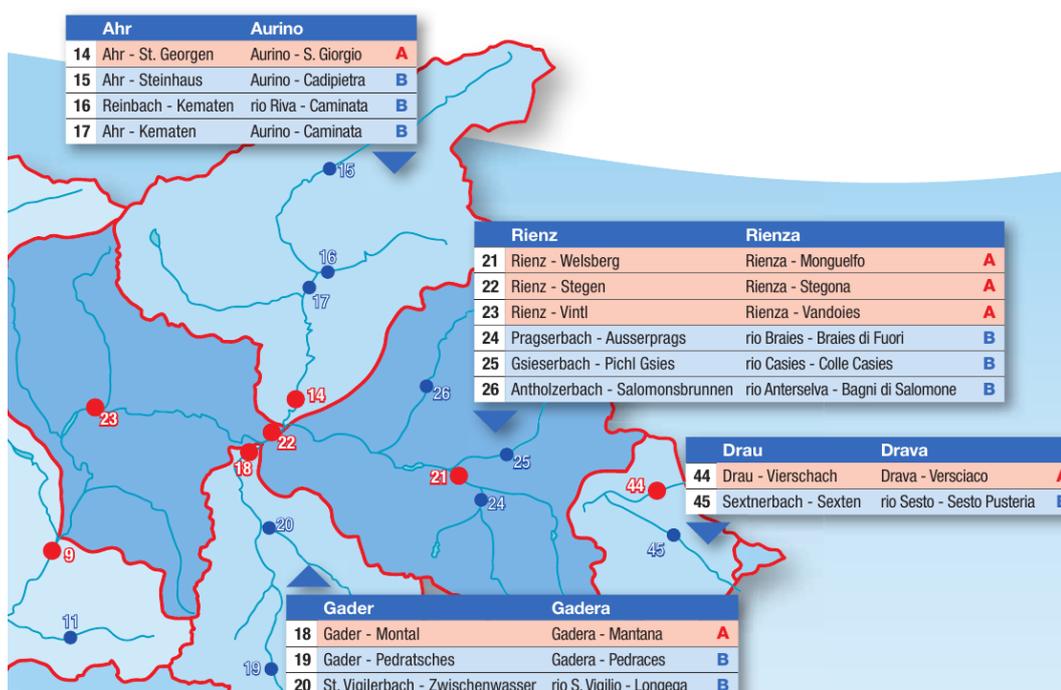


Figura 6.3: Stazioni idrometriche presenti nel bacino del Fiume Rienza

6.1.4 Gestione degli impianti negli ultimi decenni

Sulla Rienza sono presenti tre invasi posti in cascata lungo il fiume da monte verso valle, Monguelfo, Kniepass e Rio Pusteria. Due dei tre impianti presenti sul Fiume Rienza, Monguelfo e Rio Pusteria, sono gestiti da Alperia (che gestisce anche le traverse sull'Isarco a Funes e Colma), mentre Kniepass è gestito dalla Stadtwerke Bruneck (Azienda Pubbliservizi Brunico).

L'invaso di Monguelfo è entrato in servizio nel 1959 e da allora è stato necessario rimuovere occasionalmente il sedimento depositato, l'ultima volta nel 2006.

L'invaso di Kniepass è entrato in servizio nel 1990 ed è stato interessato da una sola manovra generalizzata di rimozione di sedimenti, avvenuta in ottobre 2018 durante il transito dell'onda di piena a seguito delle precipitazioni intense causate dalla tempesta "VAIA". Tutti gli altri interventi erano finalizzati al ripristino delle funzionalità dell'area di presa.

L'invaso di Rio Pusteria è entrato in funzione nel 1940 ed è stato oggetto di numerose ma-

novre di rimozione del sedimento presente, le ultime delle quali realizzate negli anni 2001, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009, 2013, 2014 e 2019.

6.2 Kniepass

Nell'ambito del progetto SEDIPLAN-i si è ritenuto opportuno approfondire il dettaglio tecnico riguardo la gestione attuale e futura dei sedimenti trasportati dal Fiume Rienza presso l'impianto idroelettrico di Kniepass, realizzato dall'Azienda Servizi Municipalizzati di Brunico nel Comune di San Lorenzo di Sebato (BZ) ed in esercizio dal 1990. Visto che l'impianto si inserisce in un tratto fluviale sfruttato per la produzione di energia idroelettrica sia a monte che a valle, il sito di studio è interessante anche per le implicazioni che le misure di gestione del materiale solido adottate hanno nella valutazione integrale degli impatti che si registrano lungo l'intero corso d'acqua.



Figura 6.4: *Il Fiume Rienza presso Kniepass prima della realizzazione della centrale (fonte: ASM Brunico)*

6.2.1 Descrizione dell'impianto

6.2.1.1 Dati tecnici

Con una potenza nominale di 8.250 kW e una producibilità media annua di 40 GWh/anno, l'impianto di generazione è idraulico a bassa caduta del tipo ad acqua fluente, è situato a ovest di San Lorenzo sul Fiume Rienza in località "Kniepass". Il decreto di concessione della derivazione d'acqua è stato rilasciato con D.I.M. del 14 dicembre 1985 Nr. 1954, il progetto esecutivo è datato maggio 1988, l'inizio degli invasi sperimentali è avvenuto nel settembre 1991 e gli atti di collaudo sono stati approvati in data 17 novembre 1999. Si riporta in Figura 6.5 un dettaglio dei lavori compiuti nel 1991. La massima portata turbinabile è fissata in 70 m³/s. Di seguito sono riportati i dati principali della diga così come scritti nel Foglio Condizioni per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto ¹:

¹ documento introdotto dalla circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 4 DICEMBRE 1987, N. 352, che riporta una ampia e dettagliata descrizione dell'esercizio dell'impianto



Figura 6.5: I lavori di stabilizzazione delle sponde del bacino di rigurgito nel 1991 (fonte: Azienda Servizi Municipalizzati di Brunico)

- altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.1982) 24,0 m;
- altezza della diga (ai sensi della L. 584/1994) 21,2 m;
- altezza di massima ritenuta 11,6 m;
- franco (ai sensi del D.M. Nr. 44 del 24.03.1982) 1,5 m;
- franco netto 1,0 m;
- sviluppo in fibra media del coronamento 55,0 m;
- volume della diga 3.500 m³;
- quota del coronamento 799,70 m s.l.m.m..

L'opera di ritenuta è classificata ai sensi del D.M. 24 marzo 1982 in categoria D come traversa fluviale. Il serbatoio di rigurgito che si crea a monte dello sbarramento è utilizzato per la regolazione continua delle portate del Fiume Rienza per la produzione di energia nella centrale ad acqua fluente di Kniepass. In Figura 6.6 sono visibili le turbine Kaplan installate nella centrale, e un dettaglio dell'impianto, che è formato da una traversa fluviale con paratoie mobili e dalla centrale collocata in sponda destra, direttamente collegata alle strutture di ritenuta.

La traversa realizzata in calcestruzzo armato è formata da:

- due campate uguali di luce netta complessiva 26,00 m, altezza del battente 10,00 m;
- due vasche di dissipazione dell'energia a valle delle paratoie con rampe di scivolo contrapposte e tre gradoni in contropendenza;
- un fondo alveo a valle dell'opera in roccia;
- ponte di servizio con carreggiata larga 3,50 m;



Figura 6.6: Le turbine Kaplan installate ed un'immagine del sistema di controllo

- gru a ponte di servizio per la manovra delle panconature e per l'apertura delle paratoie a settore in condizioni di emergenza;
- organi di scarico costituiti da due paratoie a settore del diametro di 9,00 m con ventola sovrapposta per un'altezza complessiva di 10,00 m (7,20 m il settore e 2,80 m la ventola) e una larghezza di 13,00 m, entrambe a comando idraulico.

L'opera di presa (Figura 6.7) è collocata in sponda destra, immediatamente a ridosso dello sbarramento, con sezione di imbocco di 23,00 m di larghezza per 6,00 m di altezza, con soglia a quota 791,00 m s.l.m.m.. Il fabbricato della centrale è in linea con lo sbarramento (un dettaglio del quale è visibile in Figura 6.8) ed è collocato sopra il canale di derivazione. Le opere di restituzione sono collocate in parallelo alle vasche di dissipazione delle paratoie e a valle della centrale (Figure 6.9) e sono costituite da tre canali in calcestruzzo armato.



Figura 6.7: Il tratto terminale del bacino di rigurgito e l'area della presa laterale

Per quanto riguarda il bacino, si elencano di seguito i dati principali disponibili:

- quota di massimo invaso 797,80 m s.l.m.m.;
- quota di massima regolazione 797,80 m s.l.m.m.;



Figura 6.8: Lo sbarramento è dotato di due paratoie di settore



Figura 6.9: Lo sbarramento visto da valle, in condizioni di derivazione (sx) ed in sfioro (dx)

- superficie dello specchio liquido 0,09 km²;
- volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.1982) 450.000 m³;
- volume totale di invaso (ai sensi della L. 584/1994) 480.000 m³;
- superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso 1.694 km²;
- portata di massima piena di progetto con tempo di ritorno 100 anni 370 m³/s;
- portata massima teorica 1.016 m³/s.

Essendo lo sbarramento una traversa fluviale costituita da due sole paratoie, esso non ha altri scarichi oltre a queste e la regolazione delle portate in arrivo viene effettuata agendo solo su queste paratoie, regolate allo scopo di mantenere il livello costante a monte. Di seguito i dati di portata esitata con livello nel serbatoio alla quota di massimo invaso:

- dalla ventola superiore destra completamente abbattuta (luce max 2,80 m) 40 m³/s;
- dalla ventola superiore sinistra completamente abbattuta (luce max 2,80 m) 80 m³/s;

- dalle paratoie a settore completamente alzate (luce max 6,0 m) $2 \times 590 \text{ m}^3/\text{s}$;
- totale dallo scarico di fondo $1.180 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lo scarico di superficie è costituito da due paratoie a settore (Figure 6.10 e 6.11), sopra a ciascuna delle quali si trovano due ventole per la regolazione del livello. Le due paratoie a settore vengono utilizzate anche come scarico di fondo, con luce di apertura verticale pari a 6,00 m. Ai sensi del Foglio Condizioni, il livello all'interno del bacino viene regolato in tre

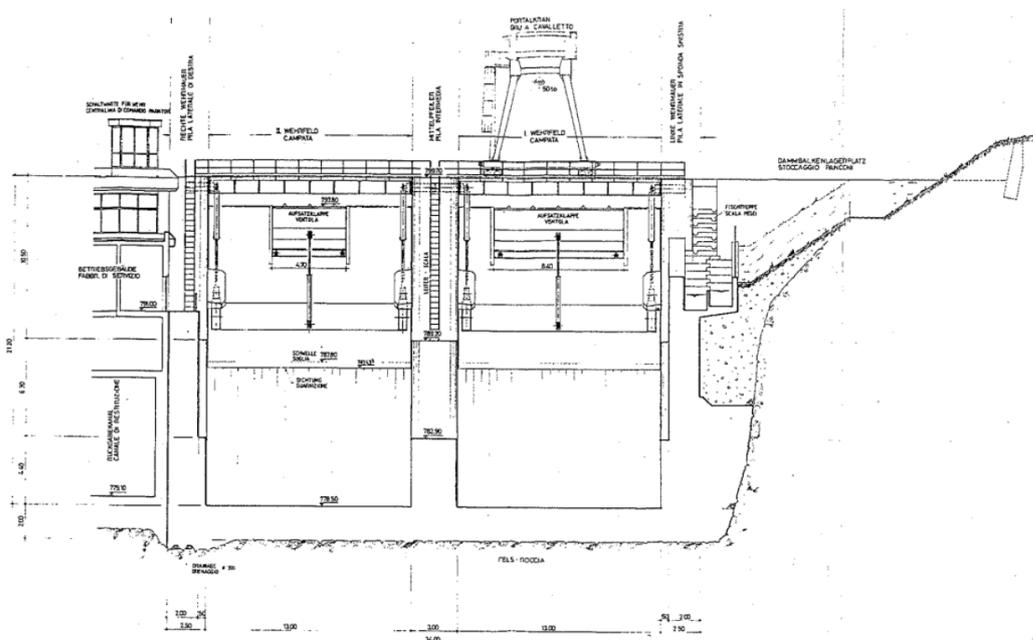


Figura 6.10: Vista frontale dello sbarramento con le due paratoie (fonte: AMS Brunico)

fasi successive, così descritte:

- mantenimento del livello di invaso fino a ca. $165 \text{ m}^3/\text{s}$ (che corrisponde alla massima piena annua attesa, HQ1), a partire da $120 \text{ m}^3/\text{s}$ è possibile aprire parzialmente le paratoie di settore;
- regolazione ed abbassamento del livello di invaso con portate tra 165 e $250 \text{ m}^3/\text{s}$;
- apertura completa delle paratoie di settore con portate superiori a $250 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.2.1.2 Considerazioni sulla gestione del trasporto solido

Innanzitutto preme sottolineare come nel Foglio Condizioni vengano riportate *Notizie sull'interrimento e sua eventuale influenza sulla funzionalità delle opere di scarico*. Si legge testualmente: *"Data l'estensione notevole e le caratteristiche del bacino imbrifero sotteso (buona copertura forestale e vegetale, notevole estensione dei lavori di sistemazione*

dal Gestore. Nel corso degli anni, oltre alla documentazione progettuale originale, l'Azienda Servizi Municipalizzati di Brunico ha commissionato alcune campagne batimetriche del fondo del serbatoio. Inoltre, negli ultimi 10 anni sono state rilevate a cadenza annuale le quote del fondo alveo e delle sponde in alcuni transetti di riferimento del serbatoio, grazie alle quali è possibile ricostruire l'evoluzione del fondo dell'alveo nel tempo, come illustrato in Figura 6.12. Si evince come la maggior parte dei processi di interrimento siano intercorsi

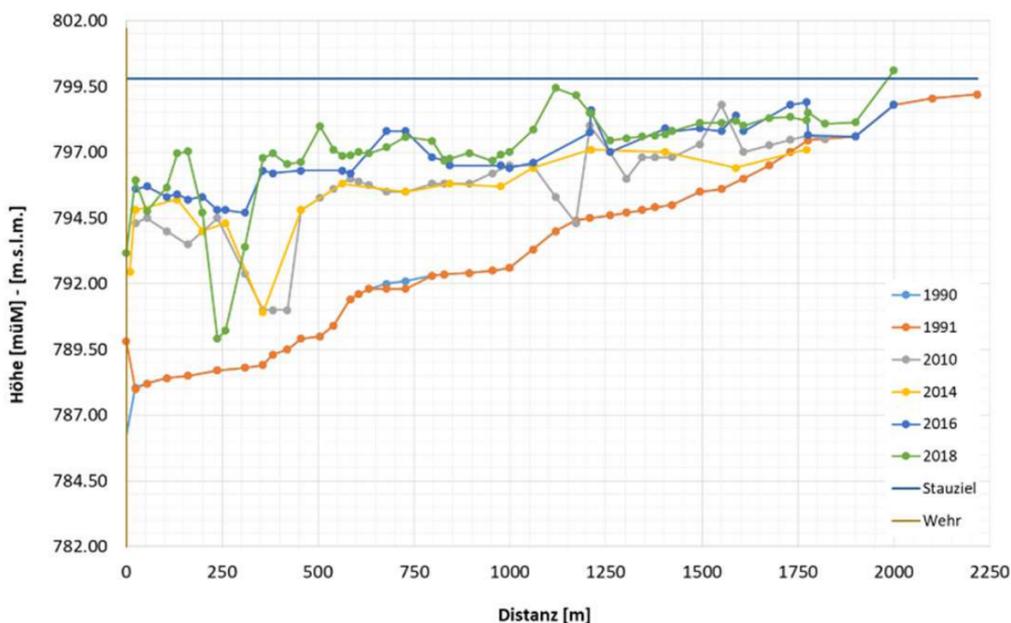


Figura 6.12: Evoluzione del fondo alveo nel serbatoio a servizio dell'impianto di Kniepass

nei primi anni di esercizio dell'impianto e che dal 2010 al 2018 la quota del fondo sia sostanzialmente rimasta invariata. Occorre anche aggiungere che dal 1987 non si sono più verificate piene importanti lungo l'alveo della Rienza e che nel corso dei primi decenni di esercizio il Gestore non abbia eseguito operazioni di svasso totale e di fluitazione sostanziale, limitandosi ad una apertura parziale e periodica delle paratoie di settore al fine di liberare dall'inghiaiamento l'area subito a monte della traversa fluviale. In Figura 6.13 è illustrato a titolo indicativo il confronto tra la situazione iniziale e la situazione al 2018 in uno dei transetti monitorati nel tempo. L'interrimento risulta evidente. La situazione antecedente all'evento "VAIA" si può osservare dalle foto aree scattate da elicottero nel maggio 2018 durante i rilievi batimetrici e fotogrammetrici eseguiti (Figura 6.14), dove si nota come le anse del bacino di Kniepass fossero completamente riempite di materiale depositato. Come già accennato, a fine ottobre 2018 si è verificato un importante evento idrologico noto con il nome di "VAIA". Forti tempeste e piogge battenti hanno interessato anche il bacino imbrifero del Fiume Rienza e del Torrente Gadera, generando, come illustrato di seguito, una piena eccezionale con picco stimato di ca. $274 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondenti ad un evento con tempo di ritorno di 25-30 anni. Le Figure 6.15 e 6.16 riportano alcuni momenti della situazione verificatasi presso l'impianto di Kniepass e più a valle a Rio Pusteria durante il passaggio della piena originata dalla

tempesta Vaia. Coerentemente con quanto prescritto nel Foglio Condizioni, per ragioni di protezione civile in corrispondenza del picco di piena, il Gestore ha completamente aperto le paratoie di settore per lasciar transitare la piena, mantenendo poi tale configurazione per diversi giorni fino all'esaurimento dell'evento idrologico. Se da un lato tale operazione ha perfettamente rispecchiato le prescrizioni normative, dall'altro ha consentito di evacuare nell'alveo di valle gran parte del materiale solido depositatosi nel bacino nel corso degli anni. Grazie alle indagini batimetriche svolte nel 2019 si è appurato come il volume di invaso del bacino post "VAIA" fosse tornato alla situazione originale con ca. 475.000 m³ nuovamente liberi da sedimenti. Pertanto nel corso dell'evento citato sono stati rimossi oltre 240.000 m³ di materiale solido. In merito alla gestione del materiale solido, facendo seguito a quanto riportato nel Foglio Condizioni prima citato, si può concludere quanto segue:

- Nell'arco di 28 anni (1990 - 2018) il Gestore ha effettuato tutte le regolari operazioni di manutenzione finalizzate all'esercizio della derivazione, atte a garantire la sicurezza presso gli organi di scarico a servizio dell'impianto. Non sono stati effettuati svassi totali finalizzati alla rimozione dei sedimenti o operazioni generalizzate di fluitazione, ma operazioni di minore entità con svassi parziali (tramite la regolazione delle ventole) ed aperture parziali delle paratoie di settore per liberare dal materiale grossolano l'area prospiciente la zona di presa. In occasione di tali operazioni, secondo quanto riferito dal Gestore, è stata rimossa una quantità modesta di materiale, quantificata tra 4.000 e 6.000 m³.
- Nel corso di due settimane (fine ottobre/inizio novembre 2018), in occasione di un eccezionale evento di piena, è stato possibile liberare completamente il serbatoio dal materiale solido depositatosi nei decenni precedenti.

Occorre anche sottolineare che, a causa degli elevati apporti solidi della Gadera, si riscontrano sempre ingenti depositi di ghiaia in prossimità della confluenza con la Rienza (Figura 6.17). Anche in caso di piene non particolarmente intense, tali depositi tendono a parzializzare la sezioni di deflusso riducendo notevolmente i franchi di sicurezza e causando l'alluvionamento delle zone antistanti il corso d'acqua con interessamento di edifici e terreni

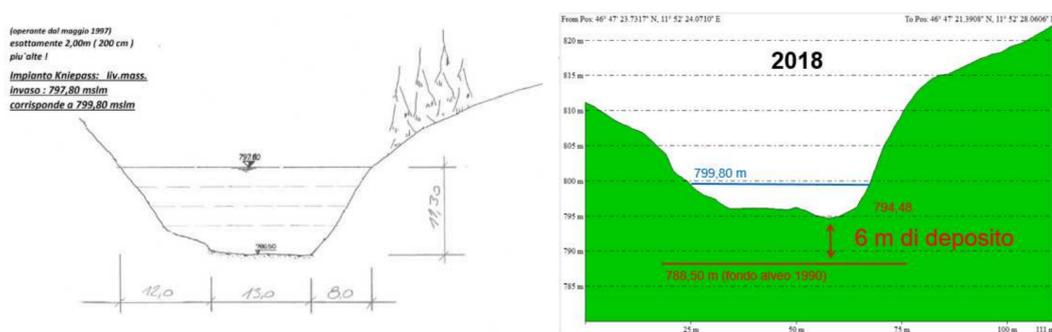


Figura 6.13: Interrimento in uno dei transetti monitorati nel serbatoio di Kniepass (1990-2018)



Figura 6.14: Lo stato di interrimento del serbatoio di Kniepass nel maggio 2018

privati. Per ovviare a questo problema, il Gestore è intervenuto in un paio di occasioni con operazioni di rimozione meccanica dei sedimenti. Di concerto con l'Ufficio Tutela Acque ed in generale con l'avvallo degli Enti provinciali, i quantitativi di ghiaia prelevati a monte del serbatoio sono stati successivamente rimessi in Rienza a valle dello sbarramento di Kniepass, al fine di alimentare di materiale grossolano l'alveo di valle in cui si riscontra un costante deficit di materiale lapideo formativo, che rappresenta di fatto un substrato imprescindibile per gli habitat ittici e macrobentonici.

Appare quindi evidente come la gestione del trasporto solido presso l'impianto sia stata eseguita al fine di garantire l'esercizio idroelettrico, la funzionalità degli organi di scarico e le necessarie condizioni di sicurezza idraulica. Non è però stato tenuto in considerazione l'impatto che la presenza della traversa genera sul continuum fluviale anche e soprattutto dal punto di vista del trasporto solido. Al fine di valorizzare questo aspetto nell'ottica della sostenibilità ecomorfologica ed ambientale, risulta pertanto necessario adottare nuove strategie di gestione del materiale solido, soprattutto di matrice grossolana, al fine di migliorare la continuità longitudinale del trasporto solido lungo il corso d'acqua e l'alimentazione solida a valle della traversa fluviale.



Figura 6.15: Il transito della piena "VAIA" a Kniepass e paratoie di settore completamente aperte (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)



Figura 6.16: *L'ingente deposito di materiale flottante presso lo sbarramento di Rio Pusteria (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)*



Figura 6.17: *Banchi di ghiaia depositati in prossimità della confluenza tra Rienza e Gadera*

6.2.2 Il bacino della Rienza chiuso all'impianto Kniepass

Il bacino imbrifero del Fiume Rienza chiuso all'impianto di Kniepass ha un'estensione di 1.694 km² e si colloca ca. 2 km a valle della confluenza con il Torrente Gadera (Figura 6.18), che contribuisce con 390 km² di bacino. Altro affluente di rilievo è il Torrente Aurino con 630 km² di bacino imbrifero. La quota media del bacino è di 1.900 m s.l.m.m.. Le precipitazioni medie annue si collocano tra 900 e 1.000 mm. I coefficienti di deflusso sono pari al 58% per la Rienza e l'Aurino mentre si scende al 35% per la Gadera. La superficie coperta da

ghiacciai è pari a ca. 30 km². La portata media annua della Rienza è di ca. 44 m³/s mentre la massima media annua raggiunge 167 m³/s (dato tratto dal Foglio Condizioni). Come



Figura 6.18: *La confluenza tra Rienza e Gadera*

già accennato, il Torrente Gadera scarica in Rienza ingenti quantità di materiale durante le piene, la cui frazione grossolana tende a depositare a monte del serbatoio (Figura 6.19), mentre la frazione fine viene trasportata nel bacino e parzialmente turbinata. Per quanto



Figura 6.19: *I banchi di ghiaia allo sbocco della Gadera nella Rienza ed una significativa immagine degli apporti solidi della Gadera rispetto a quelli del Fiume Rienza*

concerne la Rienza, invece, dai (pochi) dati disponibili, dalle informazioni ricevute e dalle valutazioni effettuate, si ritiene che il contributo solido grossolano sia pressoché trascurabile. Oltre all'invaso di Monguelfo, infatti, anche alcuni allargamenti d'alveo realizzati lungo il torrente Aurino, che fungono inevitabilmente da polmone di deposito del materiale solido, contribuiscono a limitare gli apporti di materiale grossolano in Rienza. Risulta al contrario apprezzabile il contributo in termini di materiale in sospensione in caso di piena. La zona dell'invaso determinata dal profilo di rigurgito della traversa di Kniepass risale per ca. 2 km la Rienza fino a protrarsi poco a monte della confluenza con il Torrente Gadera. In questo tratto le sponde del fiume presentano vasti tratti di affioramento roccioso costituiti da filladi quarzifere. La morfologia è caratterizzata dall'andamento incassato del torrente entro i

terreni di natura alluvionale, spesso terrazzati, che ricoprono le filladi quarzifere. I terreni prospicienti la sponda destra sono dedicati a coltura prativa (Figura 6.20), mentre quelli in sinistra orografica sono più acclivi e boscati. Le sponde presentano buone caratteristiche di stabilità, tenuto conto anche che il livello dell'invaso viene generalmente mantenuto ad una quota costante. I tratti in sponda che presentano pendenza elevata sono stati protetti con scogliere in massi ciclopici, e l'intera zona di confluenza Gadera - Rienza è stata sistemata con scogliere di protezione spondali. La zona a valle della traversa è caratterizzata da una



Figura 6.20: I terrazzamenti prativi in sponda orografica destra lungo il serbatoio di rigurgito

vasta formazione terrazzata. Nel tratto immediatamente a valle per ca. 90 m l'alveo è completamente in roccia. Per uno sviluppo di ca. 500 m le sponde, che si presentano ripide, sono protette da scogliere elastiche poggiate su piede in massi annegati in calcestruzzo. Per un ulteriore tratto di ca. 1 km le sponde si presentano meno ripide, perciò sono state protette con pennelli atti a ridurre le possibili erosioni laterali in caso di piene eccezionali. Successivamente la Rienza riprende il suo carattere canalizzato (Figura 6.21), con sezione trapezoidale pressoché costante e protezioni rip-rap o in massi ciclopici lungo le sponde. Il fondo alveo si presenta corazzato e stabile con leggeri fenomeni di colmazione localizzati. Sono presenti aree morfologicamente più attive, ed in località "Ilsterner Au" è stato realizzato un intervento di riqualificazione fluviale con l'allargamento del Fiume Rienza per un tratto di ca. 900 m (Figura 6.22). Il tratto di fiume competente all'invaso di Kniepass termina con lo sbocco del Fiume Rienza nel bacino di Rio Pusteria (Figura 6.23), che serve la centrale idroelettrica di Bressanone.

6.2.3 Rilievi batimetrici e topografici

Nell'ambito del progetto è stato rilevato lo stato topografico dell'impianto Kniepass con appositi rilievi di dettaglio nei mesi di marzo ed aprile 2018, ovvero prima della piena imputabile alla tempesta "VAIA" (ottobre/novembre 2018).

Le operazioni di rilievo batimetrico topografico hanno visto l'utilizzo di tecniche differenti, le cui risultanze sono state successivamente sovrapposte al fine di ricreare la situazione topografica esistente nell'aprile 2018. Nelle immagini nelle Figure 6.24 e 6.25 si riportano alcuni

dettagli dei risultati che è stato possibile ottenere con le elaborazioni dei dati batimetrici, utilizzati in seguito nei modelli numerici di dettaglio. I rilievi topografici hanno visto l'utilizzo delle seguenti tecnologie:

- volo fotogrammetrico da elicottero;
- rilievo con strumentazione single-beam;
- rilievo con strumentazione multi-beam;
- rilievo topografico con strumentazione GPS delle aree di confluenza Rienza - Gadera.

Un secondo rilievo batimetrico è stato realizzato post "VAIA" nel corso del 2019 con le medesime tecnologie, il che ha consentito di quantificare i reali effetti dell'apertura completa delle paratoie di settore in occasione dell'eccezionale evento di piena occorso.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geometrica dell'alveo di valle della Rienza fino allo sbocco nel serbatoio di Rio Pusteria, è stato utilizzato il dato derivante dal Modello Digitale del Terreno DTM SolarTirol della Provincia Autonoma di Bolzano, con risoluzione di 0,5 m, realizzato nel 2013. Al fine di correggere l'errore topografico generato dalla presenza di acqua in alveo al momento del volo, si è provveduto a rilevare alcune sezioni di controllo del Fiume Rienza ricavando così un fattore correttivo delle quote del fondo alveo, applicato poi alle sezioni ricavate dal DTM per la costruzione del reticolo per le simulazioni numeriche.

Al fine di dettagliare tutti gli interventi eseguiti nella "Ilstener Au", dove la morfologia della Rienza è stata sostanzialmente ricreata in una configurazione intrecciata, nel maggio 2020 è stata realizzata una apposita campagna di rilievo. I dati fotogrammetrici e Lidar provinciali sono stati rielaborati unitamente ad appositi rilievi terrestri per costruire la topografia delle aree di sponda e antistanti. Si è invece accoppiato un rilievo Laserscanner ad un rilievo da barca con ecoscandaglio per le sezioni bagnate. Il tutto poi è stato inserito in una *mesh* di dettaglio che rappresenta di fatto lo stato attuale dell'allargamento utilizzato per le successive simulazioni numeriche (maggio 2020).

6.2.4 Prelievo e analisi dei sedimenti

Al fine di caratterizzare i sedimenti influenti e depositati nel bacino di Kniepass, tra marzo ed aprile 2018 è stata effettuata una campagna di prelievo ed analisi dei materiali. Sono stati



Figura 6.21: A valle di Kniepass il Fiume Rienza è regimato e canalizzato



Figura 6.22: L'allargamento in zona "Istener Au" lungo la Rienza nella Bassa Pusteria (referenza 1858, prima dei lavori, al termine dei lavori eseguiti durante la stagione invernale 2019/2020) (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)



Figura 6.23: Lo sbocco del Fiume Rienza nel serbatoio di Rio Pusteria

indagati i siti illustrati in Figura 6.27. Nelle aree emerse e sui banchi di ghiaia accessibili lungo gli alvei del Fiume Rienza e del torrente Gadera sono state effettuate delle analisi lineari (Fehr, 1987) e dei campionamenti volumetrici del materiale presente. Nelle zone sommerse interne al bacino sono stati effettuati dei campionamenti con carotatore a gravità

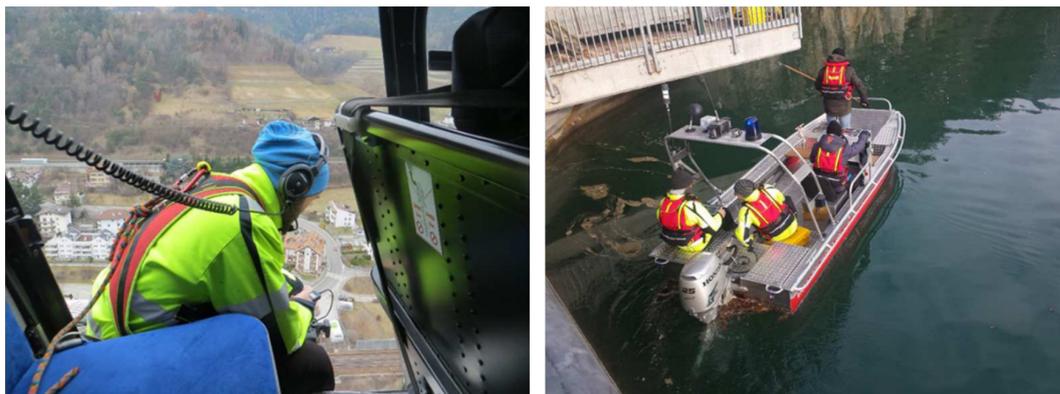


Figura 6.24: Immagini del volo fotogrammetrico e dei rilievi con ecoscandaglio

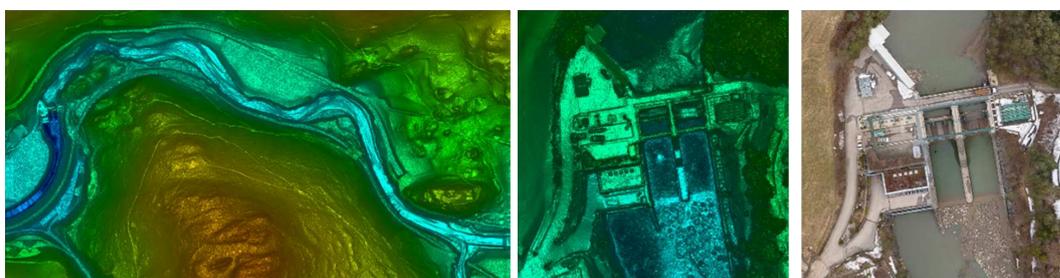


Figura 6.25: Estratti del rilievo batimetrico effettuato nel 2018

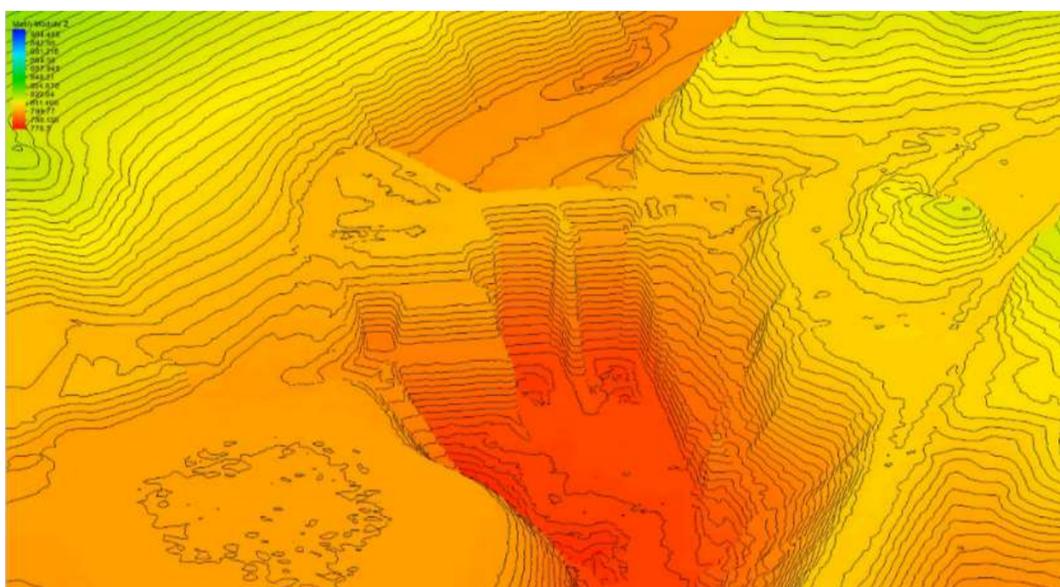


Figura 6.26: Vista 3D dello sbarramento di Kniepass risultante dal rilievo 2018



Figura 6.27: Planimetria dei siti di campionamento presso Kniepass (aprile 2018)

dei sedimenti (Figura 6.28). In Tabella 6.1 è fornito un riassunto dei prelievi effettuati e delle analisi svolte (analisi chimico-fisiche, prove di erosione, analisi granulometriche). In



Figura 6.28: Alcune immagini delle operazioni di analisi e prelievo dei sedimenti effettuate

Figura 6.29 sono illustrate le curve granulometriche dei materiali depositati sui banchi di ghiaia lungo Rienza e Gadera (siti 1, 2, 3) e dei sedimenti depositati nel bacino (4). Come intuibile, i sedimenti fini presenti nel bacino presentano una chiara dominanza di limi e di sabbie fini.

Al fine di caratterizzare anche il materiale presente a valle dello sbarramento di Kniepass, nel marzo 2019, quindi dopo l'evento "VAIA", è stata condotta una campagna di caratterizzazione dei substrati durante la quale si è provveduto a prelevare alcuni campioni di sedimento depositato in tre siti localizzati in Figura 6.30. Come intuibile, le percentuali di ghiaia risultano essere minimali già poche centinaia di metri a valle della traversa fluviale e la frazione dominante risulta essere sabbia media (Tabella 6.2). Nel sito mediano (B) anche le percentuali di sabbia grossa sono pressoché assenti. All'imbocco del bacino di Rio Pusteria il materiale presente sotto sponda è costituito essenzialmente da sabbia fine, limo ed argilla.

ID Campione	Data prelievo	Tipologia	Analisi
1	15.03.2018	Ghiaia	Granulometria
2	15.03.2018	Ghiaia	Granulometria
3	15.03.2018	Ghiaia	Granulometria
4	15.03.2018	Fango	Granulometria, Analisi C-F
5	17.04.2018	Fango	Analisi C-F, Prove di erosione
6	17.03.2018	Fango	Analisi C-F, Prove di erosione
7	17.04.2018	Fango	Analisi C-F, Prove di erosione
8	17.03.2018	Fango	Analisi C-F, Prove di erosione
9	17.04.2018	Fango	Analisi C-F, Prove di erosione

Tabella 6.1: Riassunto della tipologia di materiale prelevato e delle prove calendarizzate

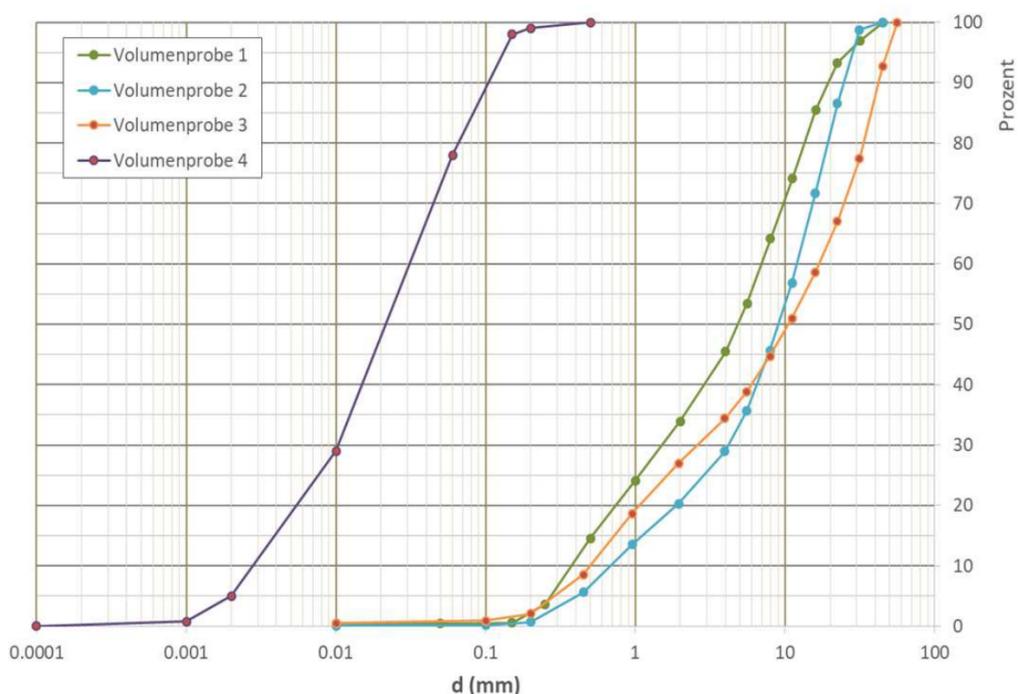


Figura 6.29: Curve granulometriche nei siti di prelievo 1(verde), 2 (azzurro), 3(arancione) e 4(viola). In figura 6.27 è possibile vedere la dislocazione dei punti di misura, mentre la Tabella 6.1 riassume la tipologia di materiale rilevata e l'analisi eseguita

Si riportano in allegato i risultati completi di tutte le indagini granulometriche eseguite.

6.2.5 Caratterizzazione dei sedimenti in laboratorio

Per quanto concerne i sedimenti prelevati nel bacino di Kniepass si è scelto di procedere anche con dettagliate analisi chimiche e fisiche, oltre che con la caratterizzazione granulometrica. Le carote di sedimento sono state sezionate presso il Laboratorio di Idraulica del



Figura 6.30: Planimetria dei siti di campionamento tra Kniepass e Rio Pusteria (marzo 2019)

ID Campione	Ciottoli	Ghiaia	Sabbia	Limo/Argilla
A	0%	2,4%	96,1%	1,5%
B	0%	0,5%	92,0%	7,6%
C	0%	0%	80,7%	19,2%

Tabella 6.2: Sintesi delle prove granulometriche eseguite



Figura 6.31: Operazioni di sezionamento delle carote di sedimento presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Trento

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento (strati variabili da 1 a 3 cm di spessore) e successivamente conferiti presso il Laboratorio di Chimica dei Materiali dell'Università di Trento. Sono stati indagati i parametri classici (contenuto d'acqua (w) e contenuto organico (OM)) e si è effettuata anche l'analisi delle concentrazioni di alcuni metalli pesanti.

In Tabella 6.3 sono indicati i risultati eseguiti sui campioni di sedimento. Si nota come il contenuto d'acqua (w , ottenuto dopo essiccazione in stufa a 105°C per 24h) sia generalmente compreso tra il 30% e il 50% della massa secca e tenda a diminuire con la profondità, indice di un materiale consolidato e compatto. Analogamente il contenuto di materiale organico (OM, ottenuto dopo incenerimento a 550°C in muffola) risulta compreso tra il 4% e l'8%, indice di un effetto adesivo della frazione organica non troppo pronunciato. In Tabella 6.4

Campione	Massa bagnata [g]	Massa secca (105° C) [g]	w [%]	OM[%]
4	259,41	179,36	30,9%	6,2%
5b1	199,76	115,02	42,4%	5,3%
5b2	218,50	132,12	39,5%	4,6%
5b3	236,67	143,20	39,5%	4,6%
6b1	149,85	73,73	50,8%	7,9%
6b2	147,78	74,42	49,6%	8,0%
6b3	175,05	87,55	50,0%	7,4%
7-1	81,19	44,29	45,4%	7,3%
8-1	230,29	145,32	36,9%	5,4%
8-2	254,43	153,20	39,8%	6,9%

Tabella 6.3: Risultati delle analisi chimiche e fisiche eseguite

sono riportati i risultati delle analisi condotte su alcuni metalli pesanti. Come riportato nella relazione tecnica redatta dal Laboratorio di Chimica dei Materiali del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Trento (fornita in allegato), tutti i valori ravvisati rispettano i limiti normativi per tale tipologia di materiale previsti per legge. Per quanto concerne infine

Campione	Concentrazione nei sedimenti [mg/kg]									
	4	5b1	5b2	5b3	6b1	6b2	6b3	7-1	8-1	8-2
Massa Campione digerito [g]	1.092	1.042	1.031	1.135	1.047	1.053	1.089	1.041	1.114	1.037
Cr	10,05	7,55	12,40	19,40	11,35	12,25	13,55	11,00	10,70	12,00
Ni	12,40	9,10	12,20	17,20	12,90	13,10	14,30	11,40	11,00	12,50
Zn	62,2	40,5	43,3	51,6	39,4	40,8	53,9	46,6	35,7	50,0
Pb	7,50	11,20	7,30	7,80	6,90	6,10	8,40	8,00	5,40	6,50

Tabella 6.4: Concentrazione di alcuni metalli pesanti nei sedimenti

le prove di erosione previste in fase preliminare, si è verificato un ritardo nella realizzazione della struttura sperimentale che doveva essere utilizzata presso il nuovo Laboratorio di Idraulica della Libera Università di Bolzano. La canaletta doveva configurarsi come la struttura illustrata in Figura 6.32. In sede di predisposizione delle simulazioni numeriche e sulla



Figura 6.32: Canaletta per le prove di erosione

scorta della caratterizzazione fisica e chimica dei sedimenti sopra illustrata, si sono assunti i valori del tasso di erosione (erosion rate) tipici di materiali bentonici fini, affini in tutto e per tutto a quelli presenti nel bacino di Kniepass (si vedano alcuni esempi in Figura 6.33). Le regressioni matematiche utilizzate sono state condivise con il gruppo di lavoro del progetto SEDIPLAN-r, in modo da allineare le valutazioni numeriche data l'affinità dei sedimenti da analizzare. Si ritiene che tale assunzione possa essere accettata ancorché non supportata da evidenze sperimentali.

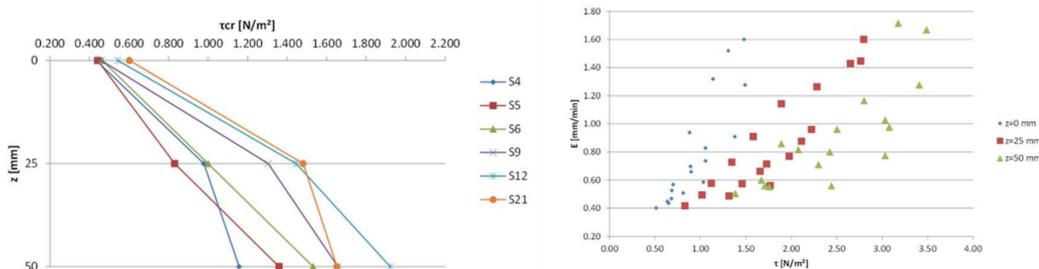


Figura 6.33: *Andamento dello sforzo tangenziale critico con la profondità e correlazione tra lo sforzo tangenziale critico e la velocità di erosione*

6.2.6 Concetto di indagine e scenari indagati

6.2.6.1 Generalità

L'attuale concetto di gestione dei sedimenti accumulati presso il serbatoio di Kniepass prevede, come sintetizzato in precedenza, di intervenire al fine di garantire l'esercizio idroelettrico, la funzionalità degli organi di scarico e le necessarie condizioni di sicurezza idraulica, senza considerare l'impatto che la presenza della traversa genera sul continuum fluviale anche e soprattutto in relazione al trasporto dei sedimenti. Al fine di adottare una strategia di gestione del trasporto solido lungimirante e sostenibile da un punto di vista ambientale ed eco-morfologico, si è proceduto al confronto dei due approcci illustrati schematicamente in Figura 6.34:

- circoscrizione degli interventi di gestione del materiale solido e di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'impianto alle manovre sinora effettuate (svasi parziali e limitate operazioni di fluitazioni per sgomberare esclusivamente l'area prospiciente gli organi di presa e di scarichi), effettuando uno svaso completo e duraturo unicamente in occasione di piene influenti severe e consistenti, come rappresentato dall'evento "VAIA", riversando cioè nell'alveo di valle in pochi giorni l'intero volume solido accumulato in quasi 30 anni di esercizio (Figura 6.34a);
- modifica radicale dell'attuale gestione del problema del trasporto solido, favorendo la realizzazione di operazioni più frequenti di svaso parziale e/o di fluitazione, in associazione ad eventi idrologici influenti di intensità più contenuta (ad esempio piene

associate a tempi di ritorno di 1, 2 o 5 anni), in modo da "dosare" con più continuità le quantità solide rilasciate nell'alveo di valle nel tempo (Figura 6.34b), perseguendo un triplice obiettivo:

- calmierare e contenere il grado di interrimento del serbatoio evitando perdite di volume utile che nella configurazione pre "VAIA" sfioravano il 50%. Nel caso specifico di Kniepass si ricorda come, essendo l'impianto ad acqua fluente, questo target non risulta essenziale per la produzione idroelettrica, basata esclusivamente sulle quantità di portata naturalmente fluenti da monte e non sul volume effettivamente invasato nel bacino di rigurgito come invece avviene nel caso dei classici impianti a bacino o serbatoio che esercitano un servizio di punta;
- alleggerire il carico solido che gli impianti idroelettrici presenti a valle si trovano a dover gestire nel caso di un'apertura totale e prolungata degli organi di scarico dell'impianto che li precede. Tale situazione ovviamente è connessa anche a maggiori o minori costi di intervento e di successiva manutenzione di tutte le parti degli impianti stessi;
- garantire l'accadimento di eventi di disturbo idrologici e morfologici con una frequenza maggiore rispetto allo stato attuale, soprattutto in contesti pesantemente artificiali come quello del Fiume Rienza nel tratto indagato, in modo da garantire una maggiore variabilità spaziale e temporale degli habitat presenti lungo il corso d'acqua. Nel caso specifico risulta interessante ad esempio verificare come un intervento di riqualificazione quale l'allargamento in località "Ilstener Au" (Figura 6.35) reagisca a diversi input liquidi e soprattutto solidi, dato che le volumetrie solide (e la loro composizione granulometrica) risultano diametralmente opposte considerando i due approcci rappresentati in Figura 6.34. La domanda in questione è semplice: *un aumento della frequenza delle operazioni di svasso parziale rappresenta sempre e solo un fattore negativo o può rappresentare in alcuni contesti anche un elemento formativo positivo per gli ecosistemi ambientali?*

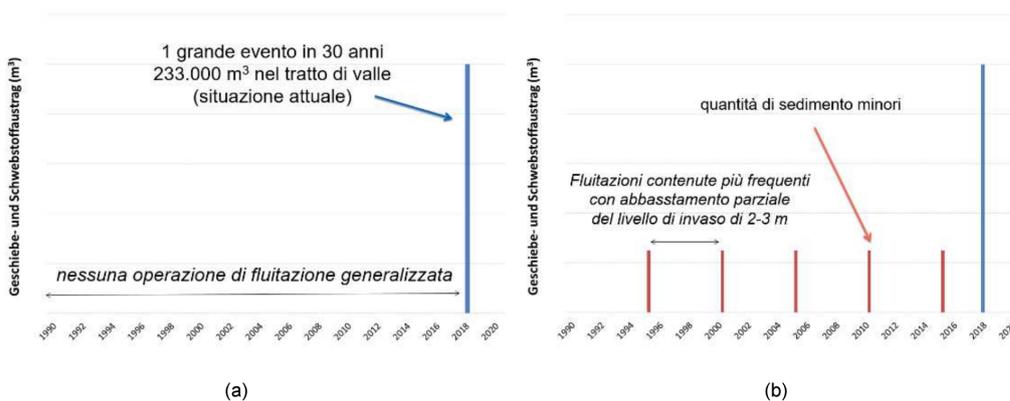


Figura 6.34: Schematizzazione del concetto di indagine implementato



Figura 6.35: *Immagine aerea dell'allargamento "Illstener Au" al termine dei lavori (fonte: Agenzia per la Protezione Civile)*

Occorre sottolineare in questa sede che, soprattutto per rispondere in modo fondato al quesito posto precedentemente, risulta imprescindibile anche un approfondimento limnologico e ittiologico per la valutazione dell'effettiva risposta delle comunità ittiche e bentoniche che attualmente popolano gli alvei di valle. Nell'ambito del presente progetto questo aspetto non è stato affrontato con sufficiente grado di dettaglio, ci si è limitati a fornire un quadro assolutamente qualitativo degli effetti attesi rimandando le verifiche di dettaglio ad eventuali approfondimenti futuri che esulano dagli obiettivi del progetto SEDIPLAN-i.

6.2.6.2 Scelta degli scenari

Gli scenari di seguito descritti traggono spunto dalle considerazioni riportate nel paragrafo precedente relativamente alla frequenza e all'intensità delle operazioni di svaso (parziale o totale) e fluitazione che generalmente vengono effettuate presso gli impianti idroelettrici. Sulle modalità di esecuzione di tali operazioni, occorre ricordare ad esempio che comunemente le luci sghiaiatrici o gli scarichi di fondo vengono utilizzati per effettuare operazioni di sluicing, ovvero di fluitazione a valle del materiale (prevalentemente fine) trasportato dalla corrente, aprendo le paratoie in coda alle piene/morbide del corso d'acqua, in modo da non incrementare sensibilmente la naturale torbidità dello stesso. Si rimanda a quanto riportato nel capitolo 3 in merito alle diverse strategie di gestione attualmente utilizzate nel settore degli impianti idroelettrici.

6.2.6.3 Scenario VAIA

Obiettivo di questo scenario è sostanzialmente la riproduzione delle dinamiche di piena e di trasporto solido proprie dell'evento "VAIA" dell'ottobre/novembre 2018, che come discusso più volte in precedenza ha coinvolto attivamente anche l'impianto di Kniepass. In sostanza questo scenario prevede le seguenti condizioni al contorno:

- piena influente molto severa con tempo di ritorno stimato di ca. 30 anni;
- apertura completa delle paratoie di settore dell'impianto, coerentemente con quanto prescritto nel Foglio Condizioni che regola l'esercizio dell'impianto;
- sversamento di ingenti quantità di materiale solido nell'alveo di valle in coda di piena, intendendo con ciò tutta la fase discendente dell'onda di piena influente.

Tale scenario può essere pertanto interpretato come un'imponente operazione di svasso totale di un bacino idroelettrico, con funzionamento a canaletta dell'invaso per una durata superiore ad una settimana.

6.2.6.4 Scenari HQ1

In base al Foglio Condizioni dell'impianto di Kniepass risulta possibile procedere con un abbassamento del livello di vaso a partire da una portata di ca. 165 m³/s, corrispondente circa alla massima portata annua attesa (HQ1). Contestualmente, per portate superiori a 120 m³/s, risulta possibile aprire parzialmente le paratoie di settore. In questo scenario pertanto si sono simulate le seguenti condizioni al contorno:

- piena influente con tempo di ritorno 1 anno (HQ1);
- apertura parziale delle paratoie di settore dell'impianto, coerentemente con quanto prescritto nel Foglio Condizioni che regola l'esercizio dell'impianto;
- abbassamento del livello di vaso dell'impianto agendo sulle ventole installate sulle paratoie di settore. In tale configurazione si è provveduto ad indagare gli effetti imputabili ad abbassamenti di livello di -0,75 m, -1,5 m, -2,25 m e -3 m, rispetto alla quota di massimo vaso.

Tale scenario può essere pertanto interpretato come svasso parziale da realizzare a cadenza annuale in occasione di un evento idrologico influente sufficientemente intenso.

6.2.6.5 Scenari HQ5

In modo analogo allo scenario precedente, si assume in questo caso una portata influente pari alla massima portata attesa ogni cinque anni (HQ5), con contestuale apertura parziale delle paratoie di settore. In questo scenario pertanto si sono simulate le seguenti condizioni al contorno:

- piena influente con tempo di ritorno 5 anni (HQ5);

- apertura parziale delle paratoie di settore dell'impianto, coerentemente con quanto prescritto nel Foglio Condizioni che regola l'esercizio dell'impianto;
- abbassamento del livello di invaso dell'impianto agendo sulle ventole installate sulle paratoie di settore. In tale configurazione si è provveduto ad indagare gli effetti imputabili ad abbassamenti di livello di -0,75 m, -1,5 m, -2,25 m e -3 m, rispetto alla quota di massimo invaso.

Tale scenario può essere pertanto interpretato come svasso parziale da realizzare a cadenza quinquennale in occasione di un evento influente intenso con trasporto solido elevato.

6.2.7 Setup modellistico

6.2.7.1 Quadro di insieme

Alla luce di quanto sopra riportato, si è scelto di agire da un punto di vista modellistico come segue:

- presso il bacino di Kniepass è stato approntato un modello numerico 2D a fondo mobile per la definizione modellistica del comportamento idrodinamico del bacino e dei sedimenti in esso depositati in relazione a diverse forzanti liquide e solide, associate a diversi tempi di ritorno;
- nel tratto di trasporto tra Kniepass e l'allargamento "Ilstener Au" è stato invece adottato un modello semplificato 1D a fondo mobile per lo studio della propagazione verso valle dell'onda liquida e dei sedimentogrammi associati a tutte le frazioni granulometriche considerate;
- presso l'allargamento "Ilstener Au" è stato approntato nuovamente un modello numerico 2D a fondo mobile per la definizione modellistica del comportamento idrodinamico dell'alveo e dei sedimenti in esso depositati in relazione a diverse forzanti liquide e solide, associate a diversi tempi di ritorno, in modo da tener conto di tutte le implicazioni fisiche e idrodinamiche che un semplice modello 1D non è per sua natura in grado di simulare;
- infine, nel tratto di trasporto tra l'allargamento ed il bacino idroelettrico di Rio Pusteria è stato sviluppato un ulteriore modello numerico 2D a fondo mobile dalla topografia semplificata, in modo da valutare l'entità dell'onda solida, e la sua capacità di raggiungere il sottostante invaso di Rio Pusteria in relazione agli scenari prima posti.

Nei paragrafi che seguono verranno illustrate le caratteristiche principali e le condizioni al contorno dei vari modelli implementati per lo studio delle dinamiche liquide e solide nei diversi scenari di studio. In tutti i casi si è adottato un approccio procedurale consolidato ed attento, basato su un percorso di calibrazione e validazione dei risultati della numerica eseguita, come rappresentato schematicamente in Figura 6.36. Si sottolinea come il dataset a disposizione fosse sostanzialmente ristretto alle conoscenze acquisite dalle ricostruzioni dell'evento "VAIA" effettuate dagli Uffici provinciali competenti e dai dati/informazioni forniti

dal Gestore. Non risultano disponibili misure dirette di trasporto solido, né al fondo né in sospensione, lungo la Rienza e la Gadera, dato che la stazione di monitoraggio del trasporto solido realizzata sulla Gadera è entrata in esercizio nel settembre 2019.

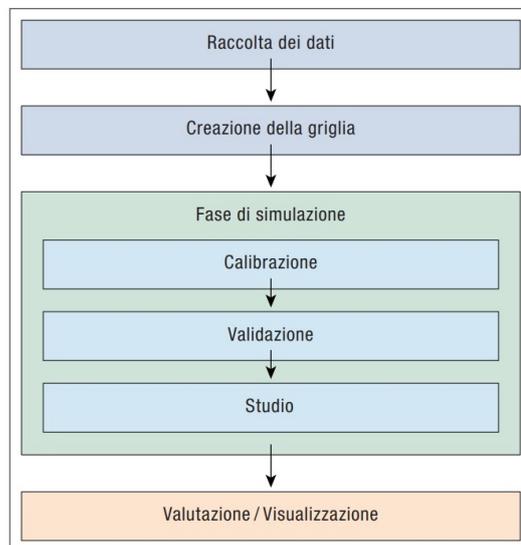


Figura 6.36: Schematizzazione del processo analitico seguito (Rousselot e altri, 2012)

6.2.7.2 Calibrazione e validazione

Come si intuisce dallo schema presentato in Figura 6.36, ogni azione di modellazione necessita di una accurata fase di calibrazione e validazione. Il tratto in esame, seppur sufficientemente descritto da dati idrologici ed idrometrici, non risulta opportunamente caratterizzato per quanto concerne le dinamiche di trasporto solido, valutate ad oggi solo in termini puramente qualitativi. Non risultano infatti misure dirette di trasporto solido né rilievi topografici ripetuti nel tempo lungo il corso del Fiume Rienza. Pertanto, per la calibrazione dei modelli di seguito illustrati sono state utilizzate le informazioni disponibili presso il Gestore e presso gli Uffici provinciali competenti (Agenzia per la Protezione Civile in primis). Per validare opportunamente e calibrare nel modo più accurato possibile i modelli si è fatto riferito ai dati acquisiti durante i rilevamenti di campagna effettuati dopo l'evento "VAIA". Sono stati scelti 16 transetti di studio in cui si è provveduto nel marzo 2019 ad analizzarne i substrati, definirne il grado di colmazione e di corazzamento, segnalare eventuali danneggiamenti delle opere di sponda imputabili a fenomeni erosivi incorsi durante "VAIA" e localizzare i depositi di materiale solido. Come indicato nelle Figure 6.38 e 6.40, sono stati censiti recenti depositi di materiale solido fine nelle zone golenali, sotto sponda o nelle isole morfologicamente attive presenti a centro alveo. Tali depositi sono stati rilevati in termini di estensione, spessore e composizione granulometrica dominante. Pertanto tutti i modelli implementati sono stati calibrati per lo scenario "VAIA" in modo da riprodurre fedelmente le risultanze dei sopralluoghi di campo in termini di localizzazione e spessore medio dei depositi e di tendenze

deposizionali delle varie frazioni granulometriche. I set modellistici così calibrati sono stati utilizzati successivamente per tutti gli scenari simulati.



Figura 6.37: Depositi di materiale solido fine censiti lungo il corso della Rienza ca. 3 km a valle dello sbarramento di Kniepass nel marzo 2019



Figura 6.38: Indagini di campo effettuate al fine di definire il grado di colmatazione e di corazzamento del fondo (marzo 2019)

6.2.7.3 Forzanti di sistema

Il bacino imbrifero del Fiume Rienza chiuso all'impianto ha un'estensione di 1.694 km² ed è illustrato schematicamente in Figura 6.39. Nell'area sono in funzione due stazioni idrometriche. Lungo la Rienza la stazione di Stegona (serie storica dal 2010) sottende un'area di 1.274 km² e recepisce anche i deflussi di piena del Torrente Aurino. Lungo il torrente Gadera è presente in località Mantana l'omonima stazione idrometrica (serie storica dal 1927) che sottende un bacino imbrifero di ca. 389 km². Data la sostanziale assenza di interbacini tra i siti strumentati e la sezione di inizio del bacino di Kniepass, la mera somma degli idrogrammi registrati presso le due stazioni, a meno di un breve tempo di corrvazione considerato trascurabile, rappresenta in modo sufficientemente affidabile il reale contributo liquido in ingresso nel bacino di Kniepass. In Figura 6.40 sono rappresentati gli idrogrammi registrati presso le due stazioni idrometriche in occasione dell'evento "VAIA". L'idrogramma in colore grigio rappresenta la somma dei due contributi che restituisce una portata di picco pari a 274 m³/s. Dall'elaborazione statistica dei dati registrati presso gli idrometri è stato possibile

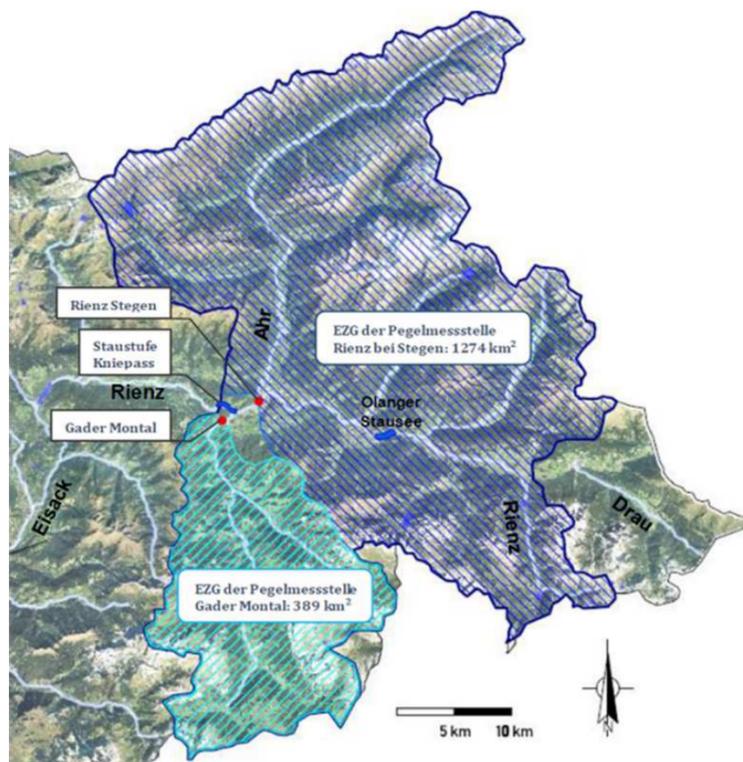


Figura 6.39: *Rappresentazione schematica del bacino imbrifero sotteso dall'impianto di Kniepass*

ricavare le portate liquide influenti per i tempi di ritorno di progetto. Analogamente, nota la portata liquida e la geometria degli alvei, sono stati stimati i contributi solidi corrispondenti. Il trasporto solido al fondo è stato stimato in entrambi i casi con la formulazione di Meyer-Peter Müller così come modificata da Hunziker. Per l'onda solida in sospensione si sono assunti valori bibliografici di riferimento tratti da bacini imbriferi di dimensioni, copertura e potenzialità detritiche simili a quelli oggetto di studio. I valori riportati in Tabella 6.5 tengono conto implicitamente di tutti i fenomeni di deposizione che si verificano nei tratti terminali dei due corsi d'acqua, soprattutto a Floronzo lungo il torrente Gadera.

	Rienza [m ³ /s]	Gadera [m ³ /s]	Bedload tot [m ³ /s]	Suspended load tot [m ³ /s]	Volume solido tot [m ³]
HQ1	134,9	41,3	0,019	0,06	3.100
HQ5	163,5	50,00	0,021	0,073	3.600
VAIA	159,00	133,00	0,04	0,16	29.300

Tabella 6.5: *Contributi liquidi e solidi (trasporto al fondo ed in sospensione) per il fiume Rienza nei vari scenari simulati*

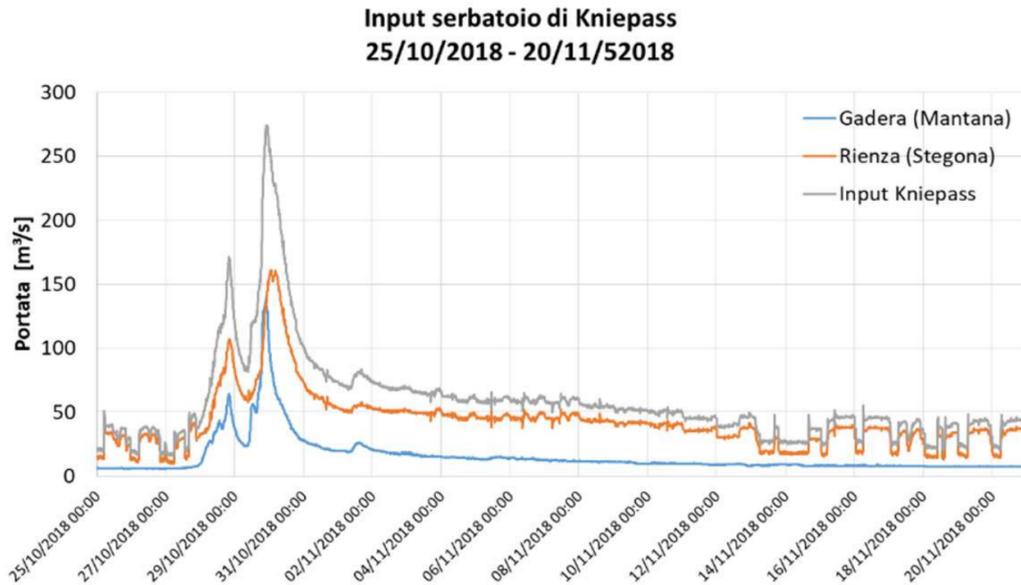


Figura 6.40: Idrogrammi di piena registrati presso le stazioni idrometriche di Mantana e Stegona durante l'evento "VAIA"

6.2.7.4 Il bacino di Kniepass

Per quanto riguarda lo studio bidimensionale a fondo mobile sulle dinamiche evolutive all'interno del serbatoio di Kniepass è stato adottato un modello bidimensionale in ambiente BASEMENT (<https://basement.ethz.ch/>). Utilizzando il software SMS è stata realizzata una mesh sulla scorta dei rilievi batimetrici effettuati nel marzo/aprile 2018, la cui visualizzazione è riportata in Figura 6.41. Il modello è stato discretizzato spazialmente in modo dettagliato

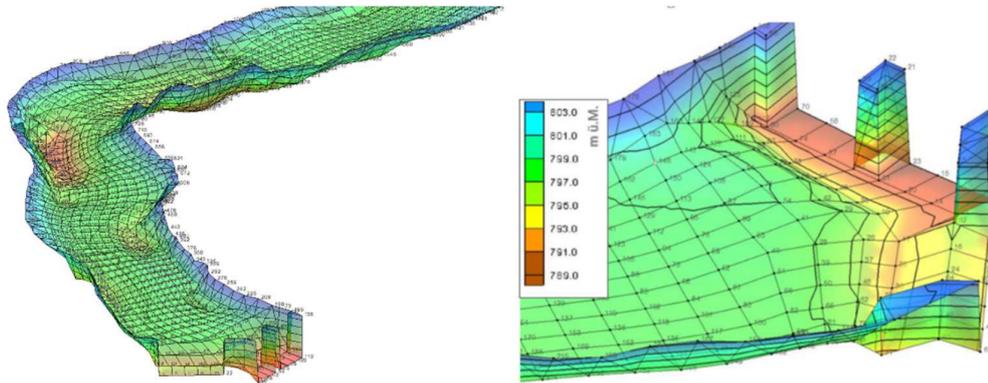


Figura 6.41: Mesh di calcolo per il serbatoio di Kniepass e dettaglio della traversa

(4.785 celle quadrangolari con maglia di superficie variabile e lunghezza mediamente di 6,5

m e larghezza di ca. 3 m).

Per quanto concerne la rappresentazione numerica delle dinamiche del fondo, la granulometria e la composizione del fuso granulometrico del fondo del bacino sono stati oggetto di opportuna calibrazione sulla scorta dei dati noti dell'evento "VAIA". Nota la composizione granulometrica solo puntuale del materiale depositato al fondo, per ricreare con sufficiente precisione una rappresentazione realistica della stratigrafia e della granulometria del fondo si è scelto di effettuare alcuni test preliminari con differenti composizioni granulometriche del materiale di fondo, distinguendo le diverse frazioni granulometriche e combinandole in modo percentuale in modo differente sino a raggiungere una configurazione tale da riprodurre il volume complessivamente eroso nel corso dell'evento "VAIA". Si è pertanto scelta la combinazione, relativa sia al materiale di fondo che al materiale sospeso, che meglio rappresentava le dinamiche erosive censite nel corso dell'evento "VAIA". Il fondo del serbatoio è stato quindi schematizzato in funzione di diverse stratigrafie tipologiche e dimensionali dei sedimenti depositati sul fondo del bacino di rigurgito a servizio della traversa fluviale di Kniepass (Figura 6.42). Occorre inoltre sottolineare i seguenti aspetti:

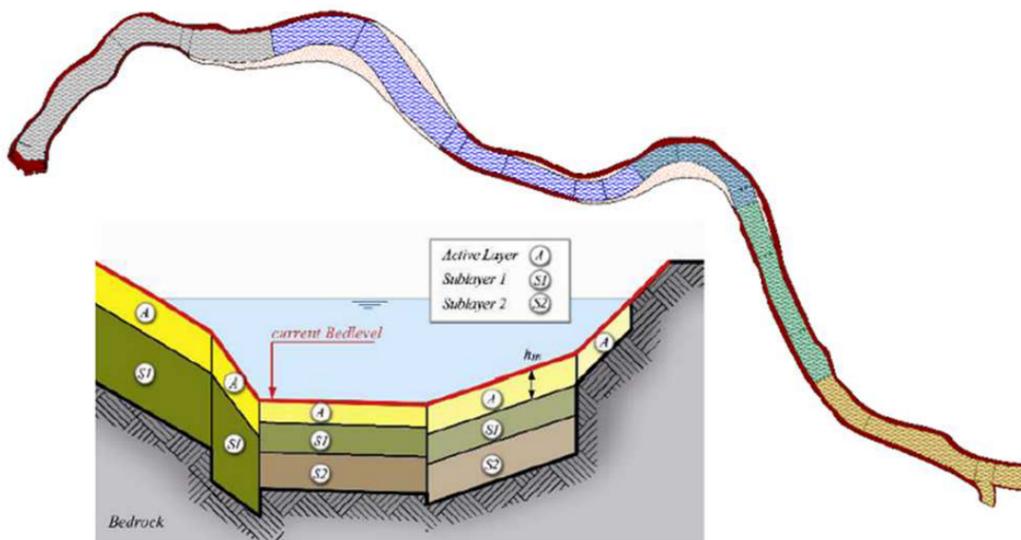


Figura 6.42: Schematizzazione della strutturazione granulometrica in classi omogenee di materiale

- per tutti gli scenari simulati è stato assunto come riferimento topografico il risultato del rilievo batimetrico del 2018, quindi ante "VAIA", in modo da simulare una configurazione del bacino parzialmente interrito;
- in tutti i casi di svaso parziale si è considerato il turbinamento della portata massima ($70 \text{ m}^3/\text{s}$), tranne che nel caso di svaso totale nello scenario "VAIA". Inoltre, negli scenari di svaso parziale, indipendentemente dal tempo di ritorno considerato, si è considerata la paratoia in destra orografica parzialmente aperta e le ventole abbassate

con differente grado di apertura a seconda dell'entità dell'abbassamento del livello di invaso assunto.

Per quanto riguarda i processi deposizionali ed erosivi nonché gli effetti degli svassi e delle simulazioni presso il bacino di Kniepass è stato redatto nell'ambito del progetto SEDIPLAN-i un lavoro di master recante "Numerische Modellierung von Verlandungsprozessen und Spülvorgängen in der Staustufe "Kniepass" an der Rienz" (Dipl. Ing. Urban Thanei, Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l., Innsbruck, febbraio 2019). Nell'ambito di tale studio sono stati analizzati diversi scenari relativi a differenti forzanti idrologiche e differenti configurazioni d'alveo al fine di indagare come il materiale sedimentato reagisce alle diverse condizioni al contorno. Nella sezione dei risultati è fornita una sintesi dei risultati ottenuti, ma si rimanda alla tesi di master per tutti i dettagli numerici e computazionali.

Da ultimo, preme evidenziare come la bontà delle simulazioni numeriche effettuate risulti strettamente collegata alla bontà con cui il modello numerico (e quindi le equazioni risolutive dello stesso) procede alla determinazione delle forzanti idrauliche caratteristiche, in primis il campo di velocità e di sforzo al fondo. Nella fase di avvio del processo di simulazione numerica, si è proceduto a confrontare i risultati delle simulazioni con BASEMENT (codice commerciale 2D) e con un codice numerico accademico utilizzato dal gruppo SEDIPLAN-r della Libera Università di Bolzano. Come riportato in Figura 6.43, si osservano alcune differenze, soprattutto per la caratterizzazione del campo di moto e di velocità. Un modello tridimensionale rappresenta sicuramente un'opzione capace di rappresentare tutta la variabilità nello spazio (anche lungo la coordinata verticale) delle correnti naturali. Un modello bidimensionale, ossia mediato sulla colonna d'acqua, è capace di riprodurre i valori medi sulla verticale delle variabili del moto (velocità, pressione, tensioni tangenziali, concentrazione di sedimenti ecc.) ed è quindi adatto a rappresentare con ottimo grado di approssimazione i cosiddetti moti in condizione di acqua bassa. Ne deriva che in tutti i casi in cui le caratteristiche del campo di moto si discostano significativamente dalle condizioni di acqua bassa (cioè quando la distribuzione verticale della pressione idrica non è idrostatica), l'utilizzo di un modello tridimensionale permette di rappresentare più fedelmente i campi di moto e gli sforzi tangenziale al fondo. Questo si riflette in una mappatura più accurata delle effettive aree di deposito ed erosione. Nel caso in esame le caratteristiche geometriche del bacino di Kniepass suggeriscono come l'approssimazione di moto su acqua bassa sia accettabile. Si è scelto quindi di utilizzare per lo studio del caso Kniepass un codice numerico 2D.

6.2.7.5 Tratto di trasporto verso l'allargamento

Per la simulazione 1D dei fenomeni di trasporto, di erosione e di deposizione del materiale solido scaricato dal bacino di Kniepass nel tratto compreso tra quest'ultimo e l'allargamento "Ilstener Au" si è utilizzato il software HEC-RAS 5.0.5 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), che consente di analizzare le meccaniche di deflusso in moto permanente e vario e le dinamiche di trasporto solido.

La componente di trasporto del sedimento del sistema di modellazione è finalizzata allo studio delle dinamiche del fondo alveo imputabili ai processi di erosione e deposizione su periodi di tempo estesi oppure limitati a scala di evento. Il calcolo delle dinamiche legate al

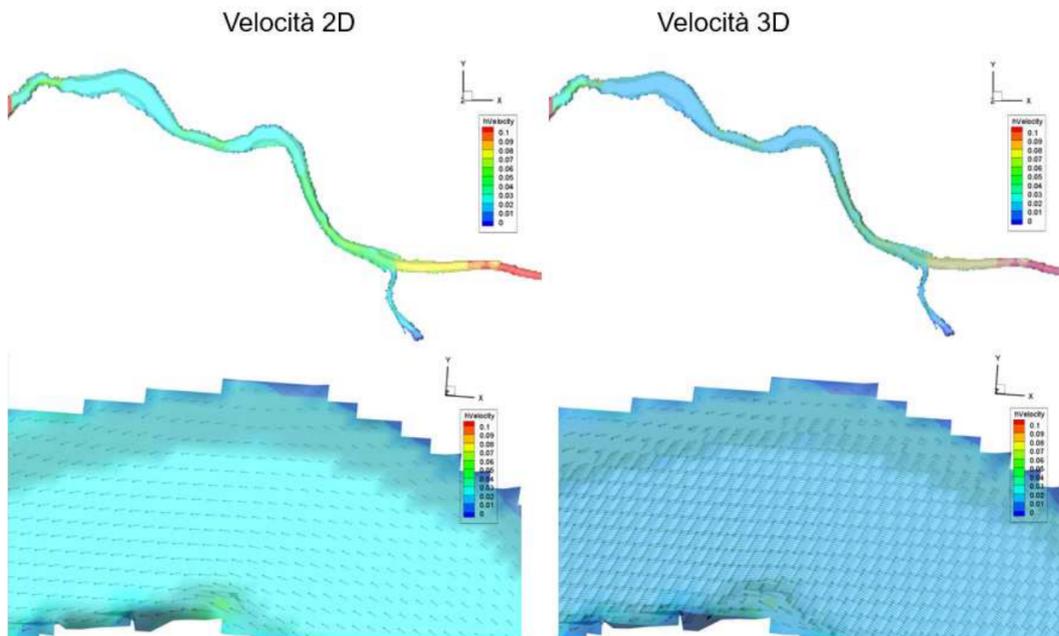


Figura 6.43: Confronto tra il campo di velocità determinato con un modello 2D e con un modello 3D a parità di condizioni al contorno e di topografia

trasporto solido è stato effettuato adottando un regime di moto vario. La capacità di trasporto solido è calcolata in funzione dei fusi granulometrici dei sedimenti e sulla geometria degli alvei, nonché sull'intensità delle forzanti idrauliche considerate, consentendo così la quantificazione del sedimento trasportato ed eroso per ogni classe granulometrica considerando anche l'eventuale corazzamento del fondo ad opera del sedimento più grossolano, caso tipico per la Rienza nel tratto simulato. Per quanto concerne il modello spaziale si è fatto riferimento al DTM 2013 SolarTiroI, opportunamente modificato come descritto nel paragrafo 6.2.3. Come detto lo studio idraulico è stato affrontato con un approccio di moto vario, descritto dalle equazioni di continuità e da quella di conservazione della quantità di moto. Queste leggi sono implementate in forma di equazioni alle derivate parziali. Gli idrogrammi liquidi considerati derivano dai risultati del modello 2D implementato nel bacino di Kniepass, variabili in funzione dello scenario considerato.

Per la definizione del modello morfologico, le caratteristiche del sedimento sono derivate dalle analisi granulometriche e dimensionali realizzate. In input sono stati forniti i risultati, in termini di portata liquida e solida, della modellazione 2D realizzata nel bacino di Kniepass per tutti gli scenari studiati. La legge di trasporto solido adottata è quella relativa al trasporto solido totale di Engelund e Hansen (1972), studiata per sedimenti con un fuso granulometrico complesso. La legge di caduta (Fall velocity method) utilizzata è quella di Ruby (1933 e successive implementazioni), mentre il fondo viene interpretato con l'approccio di Thomas a tre strati che consente di simulare i processi di protezione del fondo per presenza di materiale grossolano e fine (corazzamento o armoring) (Figura 6.44). Dopo un'attenta fase di calibrazione e validazione dei risultati, si è provveduto a lanciare le simulazioni, delle quali

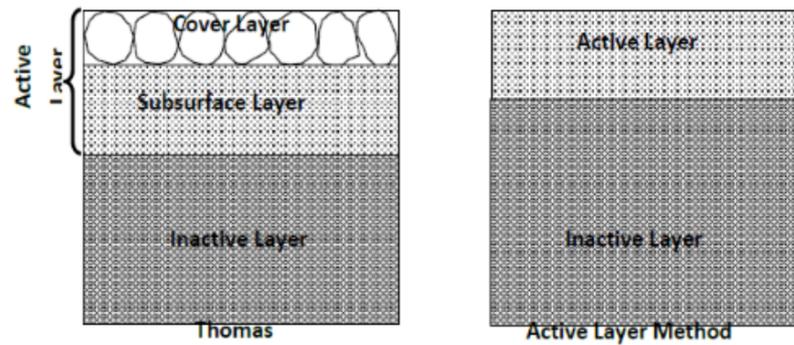


Figura 6.44: Schematizzazione delle tipologie di fondo alveo adottabili per l'analisi in HEC RAS (fonte: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras>)

si fornisce di seguito un esempio. Nello scenario "VAIA" si nota un sovrizzo del fondo solamente nel tratto subito a valle dello sbarramento per la deposizione quasi integrale delle ghiaie, dopodiché l'alveo rimane sostanzialmente stabile e la Rienza si configura come un semplice tratto di trasporto (Figura 6.45). Il modello restituisce in ogni sezione trasversale considerata le variazioni del fondo imputabili a fenomeni di erosione e/o deposizione, il relativo volume solido depositato o eroso, la concentrazione solida, lo sforzo tangenziale al fondo e sulle sponde, i tiranti idraulici e le velocità di flusso. Si è pertanto provveduto a ricostruire l'evoluzione delle onde liquide e solide (trasporto al fondo e trasporto in sospensione) lungo l'intero tratto di studio per ogni scenario considerato.

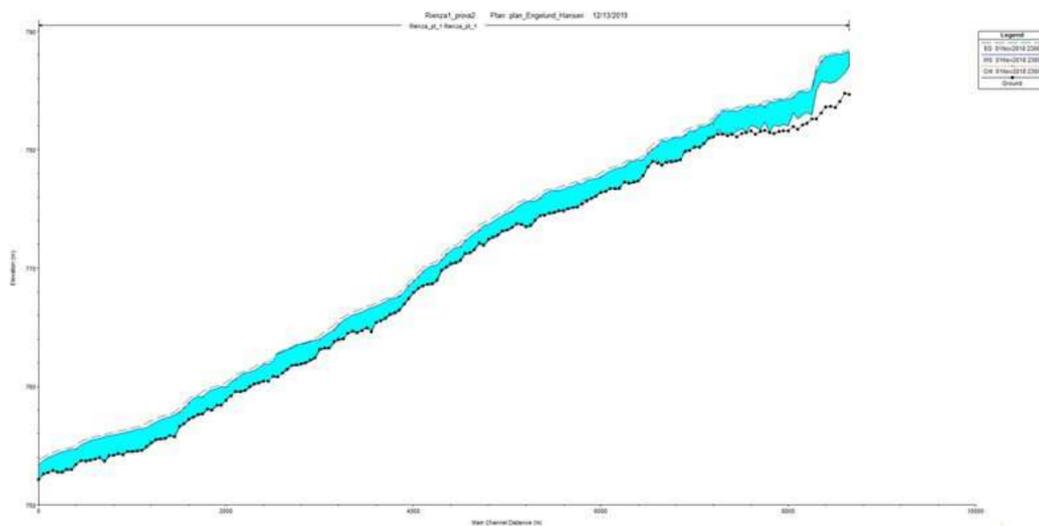


Figura 6.45: Evoluzione del profilo dell'asta della Rienza nello scenario "VAIA"

6.2.7.6 L'allargamento "Isterner Au"

Gli output del modello 1D, in termini di idrogrammi liquidi e sedimentogrammi associati a ciascuna frazione granulometrica considerata, sono stati utilizzati successivamente per la simulazione numerica bidimensionale dell'allargamento realizzato in località "Isterner Au". Il modello topografico è stato ricavato dall'apposito rilievo realizzato nel maggio 2020 ed è stato elaborato in ambiente SMS. La mesh di calcolo è stata discretizzata spazialmente con 14.532 elementi di forma quadrangolare, con dimensioni delle celle variabili tra 10 e 40 m². L'area complessivamente simulata ammonta a ca. 220.000 m² e copre un dislivello topografico compreso, tra fondo alveo e aree in sponda, tra 760 e 744,7 m s.l.m.m. (Figura 6.46). Il

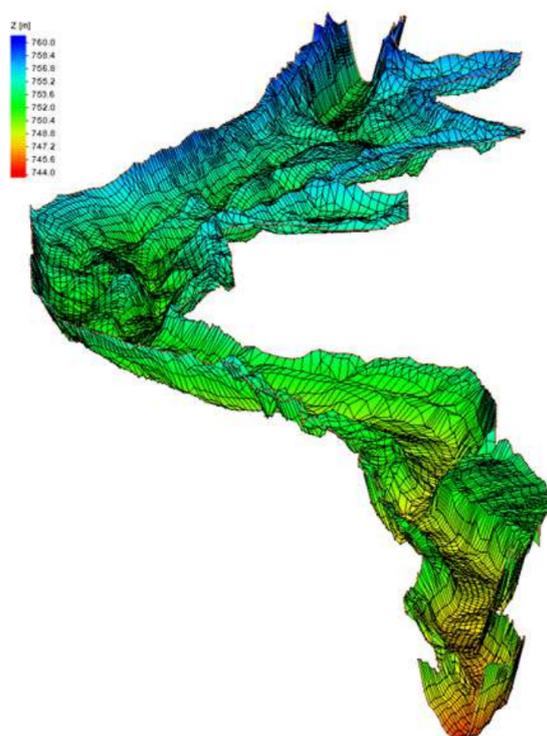


Figura 6.46: La mesh di calcolo implementata per l'allargamento in località "Isterner Au"

modello di trasporto solido di fondo è basato sull'equazione di Meyer-Peter e Müller (1948), modificata da Hunziker (1995) ed estesa ad una configurazione con più frazioni granulometriche, mentre l'evoluzione del trasporto solido in sospensione è stata studiata con le equazioni diffusive avvelte (LAD) di Van Rijn. Come condizioni al contorno, in funzione dello scenario simulato, sono stati forniti:

- gli idrogrammi liquidi ed i sedimentogrammi in output dal modello 1D di monte per quanto riguarda il trasporto solido di fondo;
- le onde di concentrazione solida del materiale in sospensione per quanto concerne il trasporto solido in sospensione.

6.2.7.7 Tratto di trasporto verso Rio Pusteria

Gli output del modello 2D, in termini di idrogrammi liquidi e sedimentogrammi associati a ciascuna frazione granulometrica considerata, sono stati utilizzati successivamente per la simulazione numerica bidimensionale del tratto di trasporto verso il bacino di Rio Pusteria. Il modello topografico si basa sul dato DTM SolarTirol 2013 modificato come riportato nel paragrafo 6.2.3. La mesh di calcolo è stata discretizzata spazialmente con 1.200 elementi di forma quadrangolare, con dimensioni delle celle variabili tra 150 e 360 m². L'area complessivamente simulata ammonta a ca. 337.400 m² e copre un dislivello topografico compreso, tra fondo alveo e aree in sponda, tra 752 e 723 m s.l.m.m. (Figura 6.47).

Le equazioni di trasporto solido al fondo ed in sospensione sono le stesse utilizzate nel modello dell'allargamento precedentemente illustrato. Come condizioni al contorno, in funzione dello scenario simulato, sono forniti:

- gli idrogrammi liquidi ed i sedimentogrammi in output dal modello 2D di monte per quanto riguarda il trasporto solido di fondo;
- le onde di concentrazione solida del materiale in sospensione per quanto concerne il trasporto solido in sospensione.

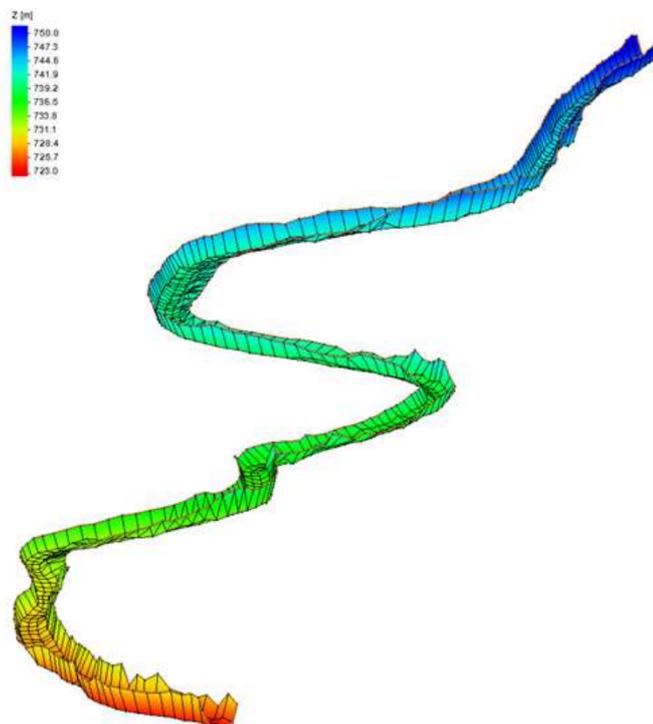


Figura 6.47: La mesh di calcolo implementata per il tratto tra l'allargamento in località "Ilstener Au" e lo sbocco nel serbatoio di Rio Pusteria

Occorre rimarcare che in questo tratto confluisce in destra orografica della Rienza il Rio di Fundres (C.120), unico tributario di una certa rilevanza nel tratto tra i due bacini idroelettrici. Il Rio di Fundres copre un bacino imbrifero di ca. 103 km². Data la differenza di estensione e di morfologia, si ritiene che eventi di piena contemporanei sui due corsi d'acqua siano assolutamente improbabili. In occasione dell'evento "VAIA" non si hanno notizie di problemi particolari o di ingente trasporto solido nel Rio di Fundres. Pertanto, nell'ambito delle simulazioni condotte, il suo contributo in termini di portata liquida e solida non è stato considerato.

6.2.8 Risultati

6.2.8.1 Processi deposizionali e svassi presso l'invaso di Kniepass

In relazione del citato lavoro di master redatto nell'ambito del progetto SEDIPLAN-i, sono stati indagati, sulla scorta dei dati disponibili per la calibrazione e la validazione dei modelli, gli aspetti idraulici e morfodinamici salienti inerenti ai processi deposizionali ed erosivi che insorgono nel bacino di rigurgito di Kniepass ed ai possibili svassi parziali che potrebbero essere realizzati. Rimandando al documento di master citato per i dettagli numerici e tecnici, si evince quanto segue:

- le variazioni di livello di vaso all'interno del serbatoio giocano un ruolo di fondamentale importanza sulla mobilità e sulle dinamiche erosive e deposizionali dei sedimenti presenti nel serbatoio di Kniepass. La massima efficienza di rimozione e di erosione del materiale solido viene raggiunta con svassi parziali caratterizzati da abbassamento del livello di vaso compreso tra 2 e 3 m;
- nella configurazione morfologica del bacino ante "VAIA" il fondo si presentava in una condizione di equilibrio dinamico di lungo periodo, con i sedimenti in ingresso che in condizioni ordinarie tendevano ad essere trasportati per rotolamento successivo all'interno del bacino, mentre la frazione più fine veniva trasportata in sospensione dalla corrente nella parte più profonda del bacino a ridosso della traversa e veniva di fatto parzialmente turbinata. Si determina quindi che solo per opportune combinazioni di forzanti idrauliche (portate influenti e livelli di vaso) e di configurazioni gestionali (regolamento del livello tramite azionamento delle ventole e apertura parziale o totale delle paratoie di settore) risultava possibile risospendere e/o mobilitare il materiale sedimentato;
- tutte le modellazioni eseguite indicano in caso di vaso parziale e di fluitazione, che la dipendenza dalle forzanti idrologiche risulta predominante fino ad eventi con tempi di ritorno di 5-10 anni, oltre i quali i fenomeni erosivi innescati non aumentano significativamente. Le concentrazioni solide in sospensione in uscita dal bacino tendono parimenti ad essere inferiori per le piene influenti più intense, in quanto si amplifica l'effetto di diluizione e di sovrapposizione con le concentrazioni solide in sospensione dell'onda naturale in ingresso;

- risulta importante definire in dettaglio anche la durata delle operazioni di fluitazione. Da tutte le simulazioni condotte risulta come gli effetti erosivi di approfondimento dell'alveo e di mobilizzazione del materiale depositato, indipendentemente dall'intensità delle portate liquide influenti, si propagano verso monte dalla traversa fino a raggiungere l'area apicale del bacino dopo 3 giorni per una HQ10 e dopo 4 giorni per una HQ5. In Figura 6.48 è illustrato il risultato di una simulazione a fondo mobile condotta con portata influente di 10 anni di tempo di ritorno. Si evince che fenomeni erosivi sostanziali (con profondità tra 1 e 2 m) si propagano sino all'inizio della zona di rigurgito per durate tra le 40 e le 85 ore. Pertanto, si può concludere che, nel caso specifico del bacino di Kniepass la durata ottimale delle operazioni di svasso parziale e fluitazione non deve essere inferiore ai 3-4 giorni (72-96 ore).

Dalle valutazioni effettuate emerge quindi come le operazioni di gestione del materiale solido siano sostanzialmente dipendenti dalle condizioni idrauliche (portate influenti) e dall'intervallo di tempo (durata) delle operazioni. Sulla scorta di queste evidenze si è provveduto ad effettuare tutti i test modellistici necessari ed utili a simulare gli scenari di progetto prima descritti. I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati in forma grafica negli allegati al presente documento.

6.2.8.2 Scenario "VAIA"

Lo scenario considerato simula quanto accaduto nell'ottobre/novembre 2018 in occasione dell'evento "VAIA". La portata liquida in ingresso ammonta a ca. 274 m³/s e rappresenta un evento idrologico intenso, con tempi di ritorno tra 25 e 30 anni. L'approccio numerico adottato, imponendo le condizioni al contorno che hanno realmente caratterizzato l'evento, conferma il quasi totale svuotamento del sedimento presente nel bacino di Kniepass. Per via modellistica vengono infatti rimossi nel corso dell'evento ca. 247.000 m³ di materiale, al pari di quanto effettivamente successo. In Figura 6.51 sono riportati i sedimentogrammi in uscita da Kniepass per ciascuna macro-frazione granulometrica considerata nell'analisi. Si intuisce chiaramente come la frazione più fine (linea verde) tenda ad essere trasportata a valle molto rapidamente con due picchi successivi che riproducono sostanzialmente l'andamento dell'idrogramma liquido in ingresso. Le frazioni via via più grossolane tendono ad essere trasportate verso valle. L'intero processo erosivo si può considerare concluso in ca. 10 giorni (240 h). Per quanto concerne le concentrazioni solide in sospensione in uscita dalla traversa si registrano picchi massimi di ca. 7.240 mg/l con una concentrazione media di ca. 2.500 mg/l nelle prime 24 h, di 2.230 mg/l nelle successive 24 h e di ca. 1.600 mg/l nel terzo giorno di fluitazione. Sull'intero periodo le simulazioni restituiscono una concentrazione media di 1.832 mg/l. Non si hanno purtroppo dati diretti per un confronto quantitativo. Per il calcolo delle concentrazioni si è utilizzata una densità di bulk pari a ca. 750 kg/m³ per i sedimenti. Le onde solide in uscita da Kniepass si riversano nell'alveo di valle. Date le modeste pendenze gran parte del materiale grossolano (ghiaia) tende a depositare entro il primo km a valle della traversa. L'alveo è sufficientemente stabile e, a parte qualche piccola nicchia erosiva sottosponda, non si registrano particolari fenomeni erosivi nel tratto di valle, pertanto il trasporto solido di fondo tende ad esaurirsi quasi completamente prima dell'ingresso

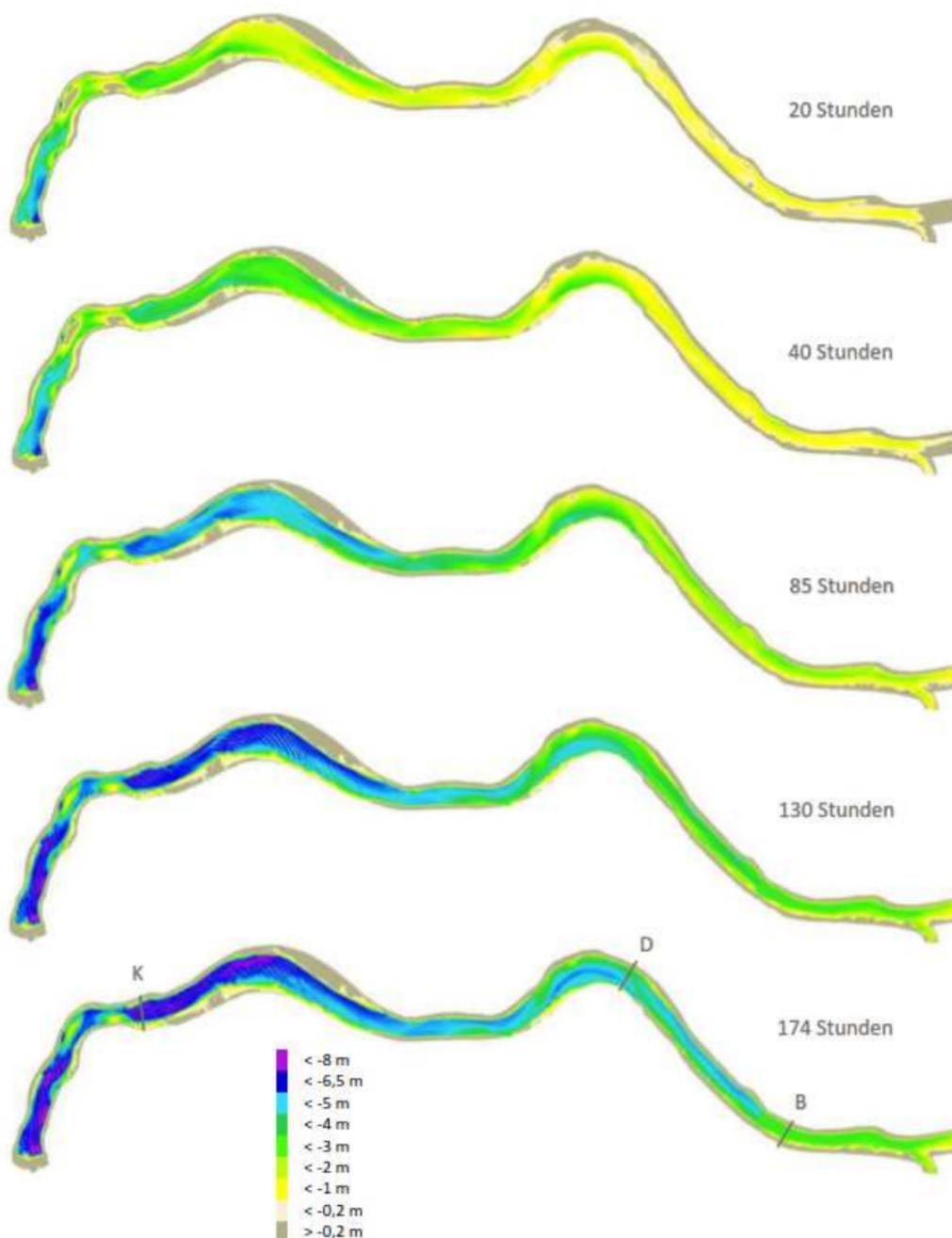


Figura 6.48: *Processi erosivi imputabili all'estensione verso monte degli effetti di una fluitazione (plot della situazione riscontrata con una HQ10 influente) (Thanei, 2019)*

nell'allargamento. Il flusso solido in sospensione raggiunge invece l'allargamento con un tasso di abbattimento pari al 53%. In ingresso all'allargamento si registra un picco solido in

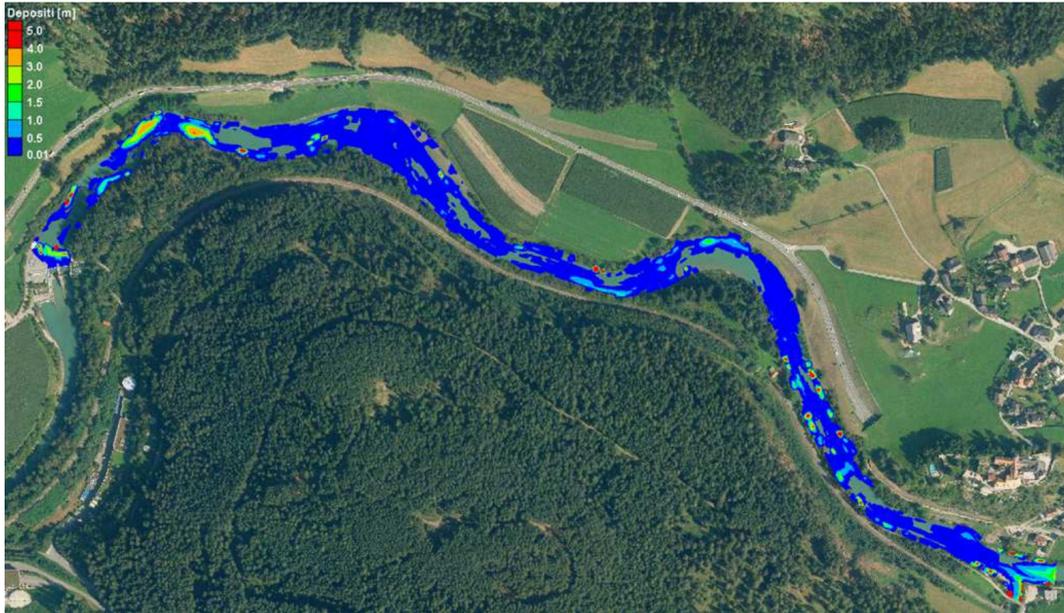


Figura 6.49: Depositi massimi all'interno del bacino di Kniepass in occasione dell'evento "VAIA"

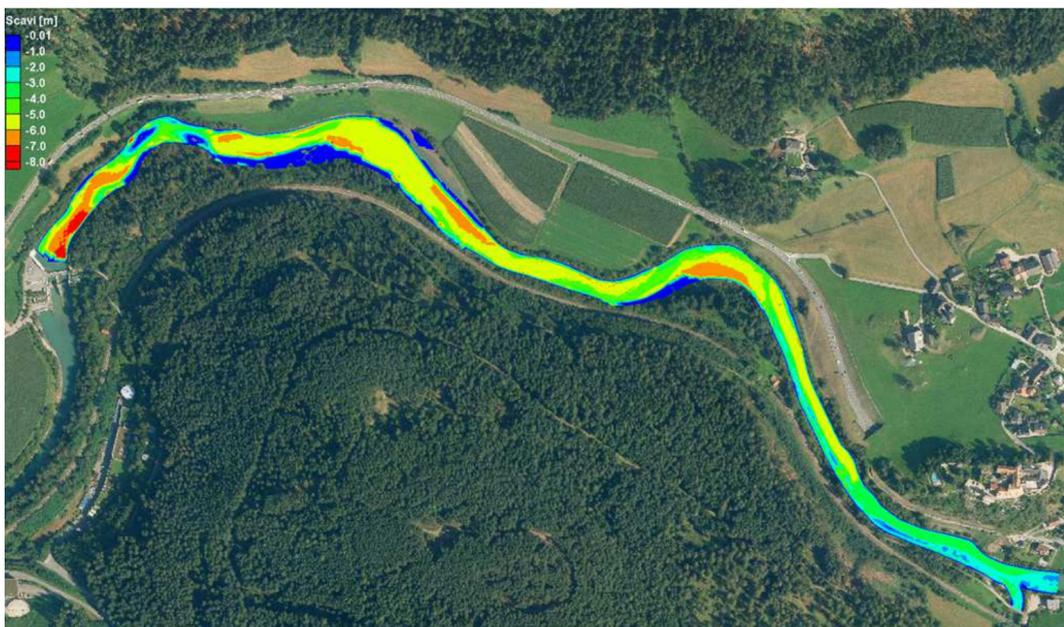


Figura 6.50: Scavi massimi all'interno del bacino di Kniepass in occasione dell'evento "VAIA"

sospensione pari a 112.000 m^3 , corrispondente ad una concentrazione solida massima in sospensione pari a ca. 3.100 mg/l . In Figura 6.52 sono forniti alcuni estratti delle simulazioni 1D effettuate, da cui sono apprezzabili in forma grafica le tendenze appena descritte per le varie frazioni granulometriche considerate.

Occorre ricordare a questo punto che in occasione dell'evento "VAIA" i lavori di realizzazione dell'allargamento in località "Ilstener Au" erano in corso e che pertanto lo stato topografico assunto per la simulazione non rappresenta lo stato effettivo del fondo alveo in occasione dell'evento. Pertanto non si hanno riscontri oggettivi e documentati degli effetti dell'evento "VAIA" in tale tratto. Dalle risultanze del modello 2D implementato, si intuisce una netta inversione di tendenza rispetto al tratto precedente:

- Il trasporto al fondo di materiale grossolano è minimo in ingresso nel tratto ma con l'aumentare della forzante liquida tendono ad essere mobilizzate notevoli quantità di materiale ghiaioso. In ingresso si hanno 1.750 m^3 di materiale grossolano, in uscita oltre 70.000 m^3 . Si nota quindi una chiara tendenza all'incisione del Fiume Rienza in questo tratto, con dinamiche morfologiche che indicano chiaramente come il comportamento idro-morfologico del torrente tenda a ricreare la configurazione rettilinea che aveva precedentemente ai lavori di riqualificazione effettuati. Questo comporta l'asportazione ed il trascinarsi verso valle di ingenti quantità di materiale ghiaioso che si riversano così parzialmente nel tratto di valle.
- Per quanto concerne invece il trasporto solido in sospensione, si evince chiaramente come le aree di deposizione delle particelle più fini siano localizzate esclusivamente nei tratti esterni dell'allargamento e che interessino sostanzialmente i rami secondari e le piccole zone di back-water esistenti. Si registra una sostanziale risospensione del materiale depositato, rispetto alle quantità in ingresso (112.000 m^3 e 3.100 mg/l di picco) si registra un notevole incremento delle concentrazioni dei solidi sospesi. In uscita si determinano ca. 350.000 m^3 di materiale solido fine (sabbia medio-fine e minore) con picchi di concentrazione solida assoluta pari a $12,5 \text{ g/l}$.

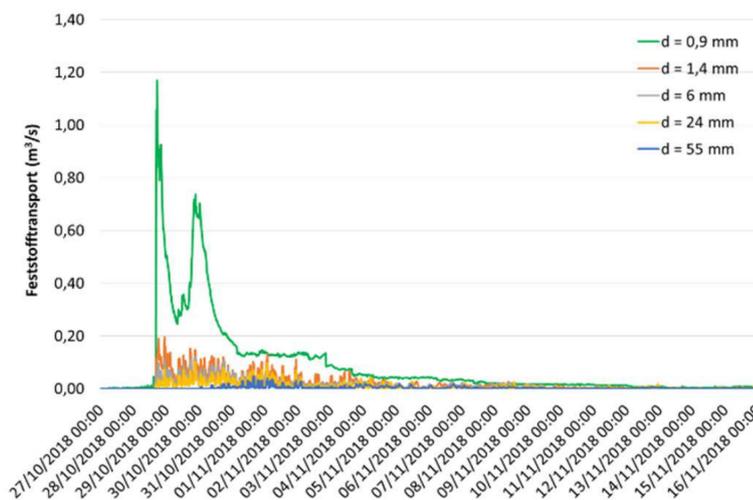


Figura 6.51: Sedimentogrammi in uscita da Kniepass per ciascuna macrofrazione granulometrica considerata nell'analisi

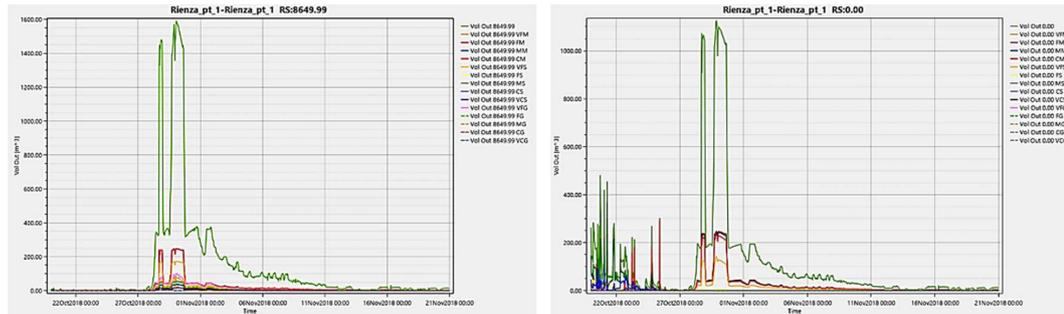


Figura 6.52: Confronto tra i solidogrammi in uscita da Kniepass ed all'ingresso nel tratto oggetto di allargamento, simulati con approccio 1D in ambiente HEC-RAS 5.2

In Figura 6.53 sono rappresentati gli scavi massimi registrati nell'area dell'allargamento in occasione di un evento con magnitudo "VAIA". La tendenza all'incisione è relativamente chiara. Nel tratto di trasporto tra Vandoies e Rio Pusteria (Figura 6.54) si verifica general-

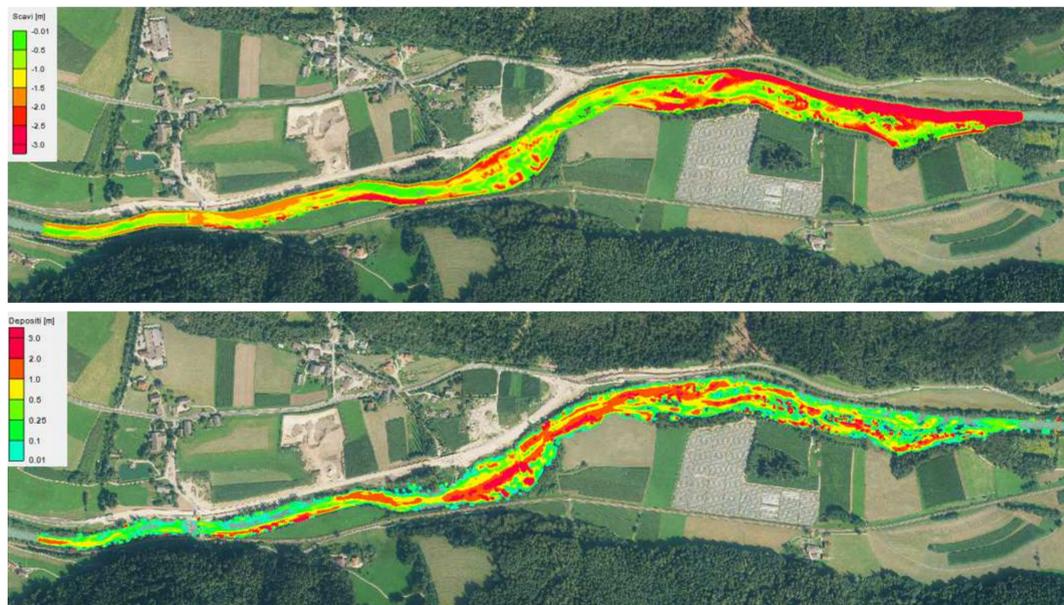


Figura 6.53: Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi determinati nel tratto dell'allargamento "Istener Au" per lo scenario "VAIA". Si nota chiaramente la tendenza all'incisione del fiume

mente la deposizione del materiale più grossolano, con un tasso di deposizione pari al 72%, nonostante si identifichino alcune piccole aree di sponda in cui si verificano erosioni. Non si registra invece erosione profonda sostanziale. Il trasporto solido in sospensione risulta invece sostanzialmente stabile con un tasso di deposizione pari a 1%. In ingresso a Rio Pusteria si determinano quantità di materiale solido complessive per a ca. 400.000 m³, pari al 60% in più rispetto a quanto scaricato da Kniepass. Si registrano concentrazioni solide di

picco assolute pari a 9.650 mg/l, sostanzialmente più alte di quelle caratteristiche della piena naturale incorsa nel maggio 2019 in occasione dell'ultima operazione di fluitazione eseguita presso l'invaso di Rio Pusteria.



Figura 6.54: Depositi massimi registrati nel tratto tra Vandoies e Rio Pusteria per lo scenario "VAIA"

6.2.9 Operazioni di ottimizzazione di gestione del materiale solido

6.2.9.1 Premessa

Al fine di identificare strategie alternative per una gestione ottimizzata del materiale solido accumulato presso il bacino di Kniepass, sono stati analizzati i risultati delle simulazioni condotte per gli scenari HQ1 e HQ5 nelle diverse configurazioni di svaso parziale, in relazione alle criticità idrauliche che si riscontrano allo stato attuale. I risultati della modellazione, riportati di seguito, sono stati utilizzati per definire alcune strategie utili al Gestore per risolvere la situazione legata alle attuali dinamiche deposizionali dei sedimenti presso il bacino di Kniepass.

6.2.9.2 Scenario HQ1

Nelle Tabelle 6.6 - 6.8 sono riportati i dati quantitativi risultanti dalle simulazioni (in termini di volume e di concentrazione solida) nei nodi salienti nel tratto analizzato della Rienza. In particolare, si riportano i dati relativi ai volumi solidi trasportati al fondo ed in sospensione (m^3) ed alla concentrazione solida massima (mg/l) in uscita da ciascun tratto.

Uno svaso parziale in concomitanza con una HQ1 consente la rimozione dal serbatoio di Kniepass di una quantità di materiale grossolano compreso tra ca. 4.000 e 4.200 m^3 , mentre può essere scaricata verso valle una quantità materiale fino in sospensione variabile tra 2.000 e 8.500 m^3 . In totale risulta possibile rimuovere dal serbatoio tra i 6.000 e 12.700 m^3 che si riversano nell'alveo del Fiume Rienza. Tale operazione consente quindi di sgomberare in caso di necessità l'area a ridosso delle opere di presa e della traversa e di fluitare verso valle una quantità di materiale pari almeno all'apporto medio annuo di materiale solido afferente all'invaso, nonché di realizzare delle operazioni di venting per smaltire a valle

Δh [m]	Input Kniepass [m ³]	Output Kniepass [m ³]	Input IlstenerAu [m ³]	Output IlstenerAu [m ³]	Input Rio Pusteria [m ³]
-0,75	800	4.033	70	8.841	1.761
-1,5	800	4.043	136	8.853	1.778
-2,25	800	4.075	110	8.863	1.783
-3,0	800	4.140	101	8.799	1.797

Tabella 6.6: Volumi solidi trasportati al fondo nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ1 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass

Δh [m]	Input Kniepass [m ³]	Output Kniepass [m ³]	Input IlstenerAu [m ³]	Output IlstenerAu [m ³]	Input Rio Pusteria [m ³]
-0,75	1.990	1.920	2.866	2.850	2.792
-1,5	1.990	3.282	4.102	4.107	3.998
-2,25	1.990	5.424	5.736	5.669	5.495
-3,0	1.990	8.474	8.065	7.970	7.660

Tabella 6.7: Volumi solidi trasportati in sospensione nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ1 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass

Δh [m]	Input Kniepass [mg/l]	Output Kniepass [mg/l]	Input IlstenerAu [mg/l]	Output IlstenerAu [mg/l]	Input Rio Pusteria [mg/l]
-0,75	259	1.939	2.140	2.572	1.589
-1,5	259	864	2.428	2.584	1.688
-2,25	259	1.384	2.348	2.354	1.673
-3,0	259	1.610	2.606	2.719	1.989

Tabella 6.8: Concentrazioni solide massime nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ1 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass

l'onda di concentrazione in arrivo. I risultati sono riportati in forma grafica per tutti i nodi salienti del sistema (Figure 6.55 - 6.58) per gli scenari HQ1 che prevedono uno svasso parziale con abbassamento del livello di invaso pari a -2,25 m e -3,00 m. Da quanto risultante è possibile trarre alcune conclusioni:

- Indipendentemente dalle quantità di materiale solido grossolano in ingresso, nel tratto subito a valle dello sbarramento di Kniepass si determina il deposito di gran parte del sedimento grossolano (quasi esclusivamente ghiaia e sabbia grossa), con un tasso di deposizione superiore al 90% del totale influente entro il primo km. Pertanto la quantità di sedimenti grossolani che arriva fino all'allargamento in località "Ilstener Au" è pressochè trascurabile. Al contrario, l'onda solida in sospensione non subisce

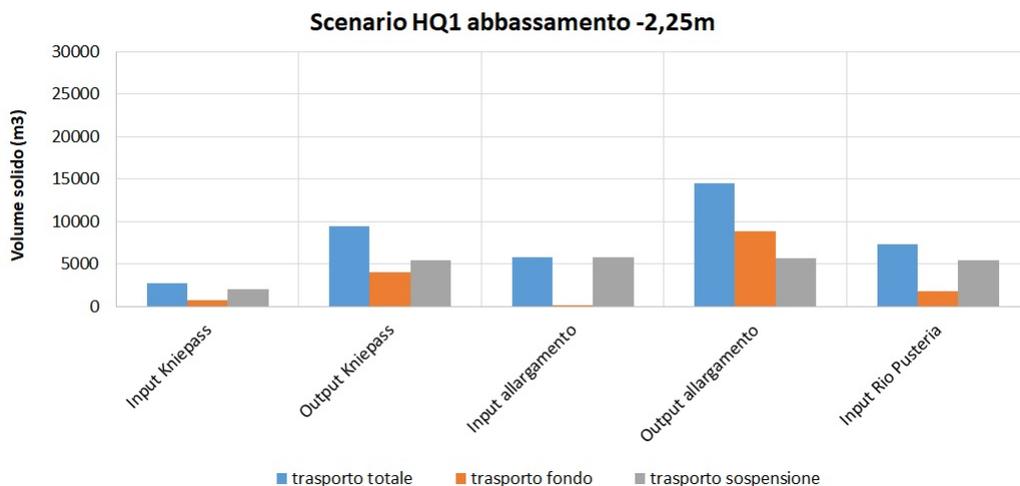


Figura 6.55: Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ1 con svasso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

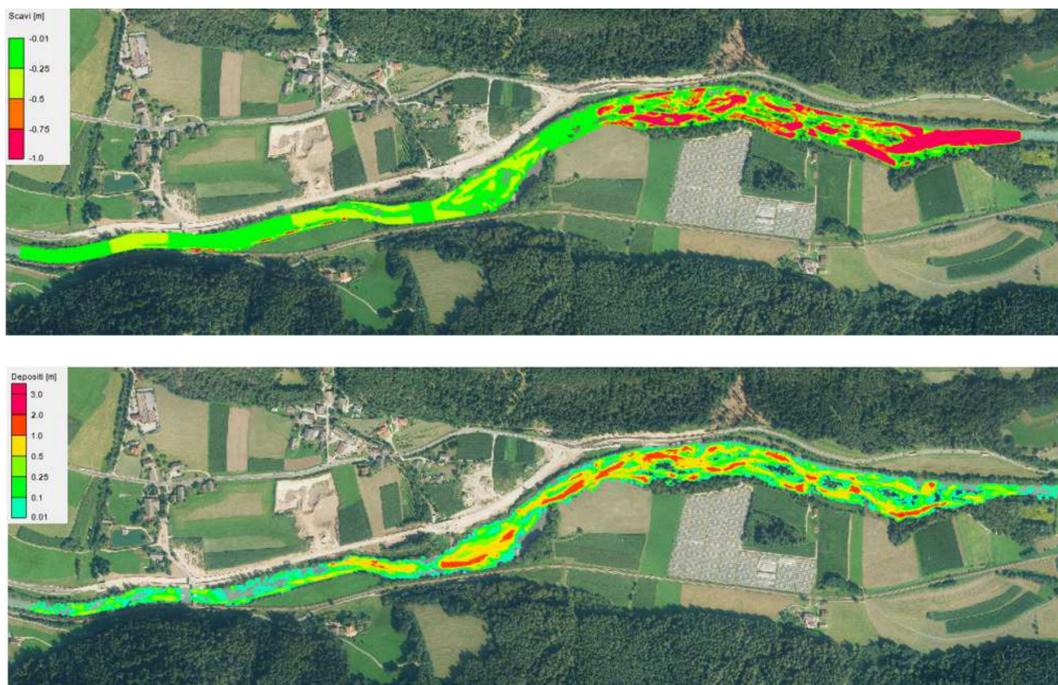


Figura 6.56: Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Istener Au" nello scenario HQ1 con svasso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

altrettanta laminazione, infatti il tasso di abbattimento delle concentrazioni solide è molto limitato, e solo una piccola parte del fine tende ad essere soggetta a depositi,

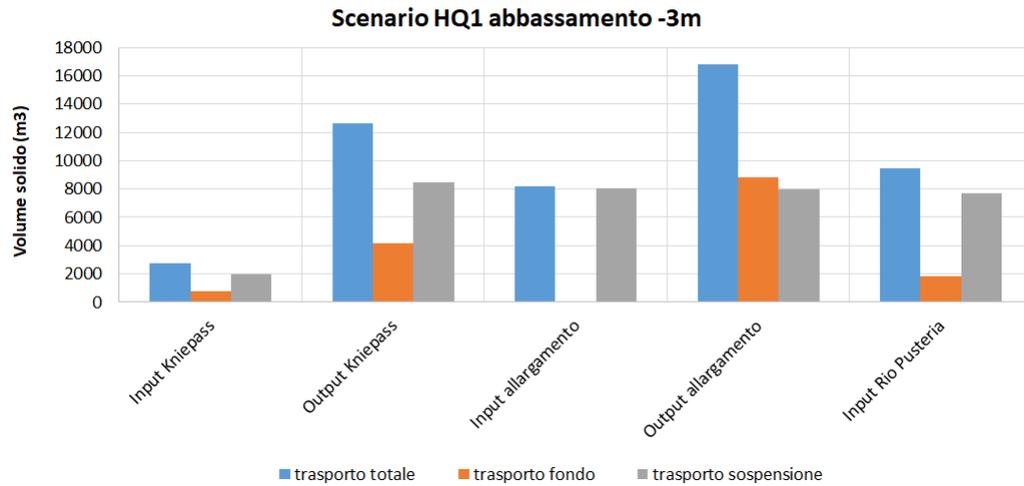


Figura 6.57: Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ1 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

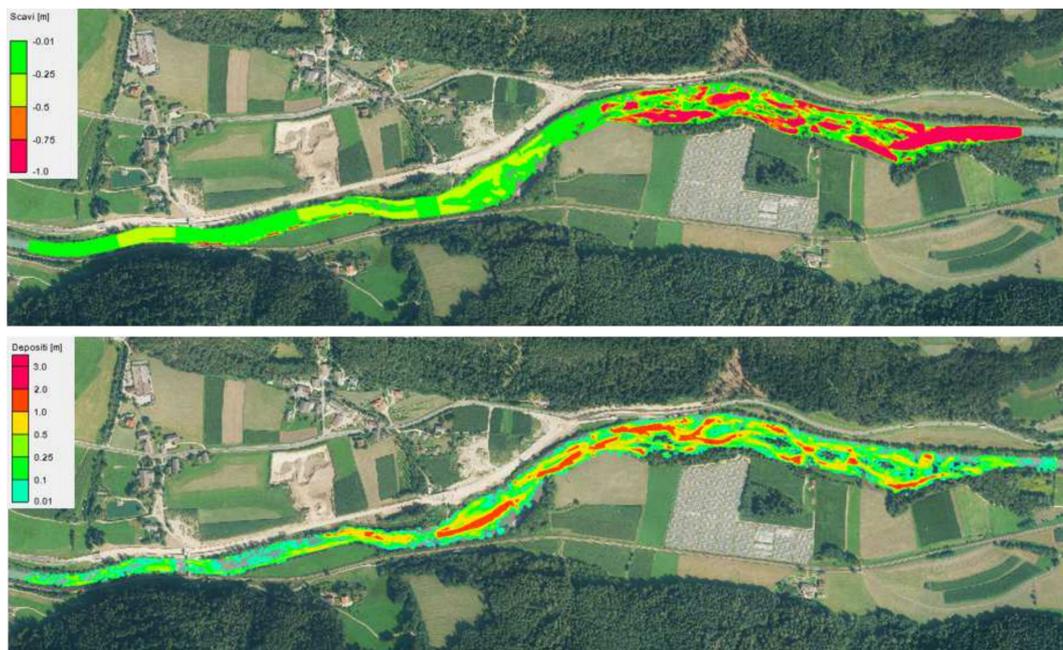


Figura 6.58: Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ1 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

soprattutto nelle zone golenali e nelle anse sotto sponda.

- nell'allargamento si assiste invece ad un completo rimescolamento del materiale con erosioni importanti che portano all'asportazione di un quantitativo di materiale grosso-

lano non irrilevante. L'allargamento risulta invece sostanzialmente trasparente all'onda di solido sospeso in ingresso, con tassi di deposizione molto contenuti (3-4%) e piccoli depositi che si verificano sotto sponda e nelle aree laterali a minore velocità. Come già osservato per l'evento "VAIA" già per una portata massima annuale si osserva la tendenza all'incisione del Fiume Rienza nel primo tratto dell'allargamento.

- A valle, dove il Fiume Rienza riprende la sua configurazione trapezoidale canalizzata, si assiste al deposito di quasi l'80% del materiale solido grossolano in uscita dall'allargamento, mentre si registra un tasso di abbattimento dei solidi in sospensione relativamente modesto, variabile tra il 2 ed il 4%. Nel bacino di Rio Pusteria si registrano in entrata ca. 1.800 m³ di materiale solido grossolano (indipendentemente dall'entità dello svaso parziale eseguito a Kniepass), e quantità variabili tra 2.800 e 7.600 m³ di materiale solido in sospensione per concentrazioni solide massime variabili tra 1.500 e 2.000 mg/l.

Da un punto di vista modellistico emerge quindi la concreta possibilità di riuscire a gestire in modo alternativo i depositi di ghiaia che si localizzano nell'area di confluenza tra Gadera e Rienza. Come descritto nel paragrafo 6.2.1.2, allo stato attuale il Gestore interviene con azioni di rimozione meccanica del materiale solido depositato ogni 3-5 anni. Il materiale viene successivamente reimpresso nel Fiume Rienza a valle della traversa di Kniepass per alimentare il trasporto di materiale grossolano nel tratto di valle, oggi sostanzialmente assente. Dalle simulazioni eseguite, emerge come effettuando uno svaso parziale con abbassamento del livello tra -2 e -3 m in occasione di una piena in arrivo pari a 165 m³/s (grossomodo corrispondente alla massima piena annua attesa, HQ1) per una durata di almeno 48-72 ore, con una parziale apertura di almeno una delle paratoie di settore, risulti possibile attivare una dinamica erosiva tale da consentire di trasportare la ghiaia in ingresso all'interno del bacino, riducendo il rischio di formazione di barre ghiaiose e nel contempo mitigando notevolmente il pericolo idraulico da esondazione che ad oggi si verifica in corrispondenza della confluenza tra Gadera e Rienza (Figura 6.59). Da un punto di vista strettamente economico risulta chia-

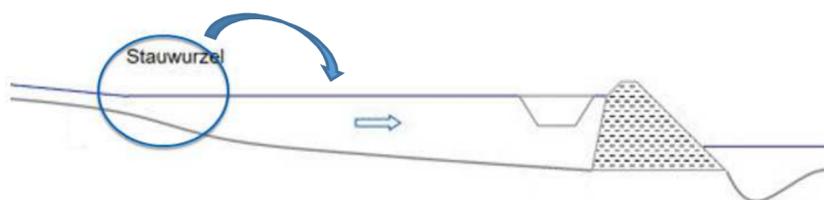


Figura 6.59: Attraverso una semplice misura gestionale, quale lo svaso parziale in occasione di un HQ1, potrebbe essere risolto il problema del deposito di ghiaia presso la confluenza con la Gadera, a fronte degli onerosi interventi di rimozione meccanica e re-immissione in alveo sino ad oggi effettuati

ra la perdita di produzione imputabile allo svaso parziale, quantificabile tra i 1.600 ed i 2.200 €, nell'arco di tempo richiesto dall'operazione (di fatto si riduce il salto utile alla produzio-

ne). Pertanto effettuando tale operazione mediamente 2-4 volte nel giro di un quinquennio, le perdite economiche complessive risulterebbero comprese tra 5.000 e 7.000 €. Confrontando tale cifra con il costo di una rimozione meccanica dei sedimenti e dell'immissione della ghiaia in alveo a valle della traversa, si intuisce chiaramente come l'operazione risulta sostenibile anche da un punto di vista economico, quantomeno per il Gestore. Si delinea pertanto una strategia win-win per tutti gli attori in gioco.

6.2.9.3 Scenario HQ5

Nelle seguenti Tabelle (6.9 - 6.11) sono riportati i dati quantitativi (in termini di volume e di concentrazione solida) nei nodi principali risultanti dalle simulazioni nel tratto considerato della Rienza. In particolare, si riportano i dati relativi ai volumi solidi trasportati al fondo ed in sospensione (m^3) ed alla concentrazione solida massima (mg/l) in uscita da ciascun tratto.

Δh [m]	Input Kniepass [m^3]	Output Kniepass [m^3]	Input IlstenerAu [m^3]	Output IlstenerAu [m^3]	Input Rio Pusteria [m^3]
-0,75	900	6.035	73	9.562	2.115
-1,5	900	6.046	66	9.630	2.127
-2,25	900	6.080	87	10.337	2.087
-3,0	900	6.190	221	10.336	2.124

Tabella 6.9: Volumi solidi trasportati al fondo nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ5 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass

Δh [m]	Input Kniepass [m^3]	Output Kniepass [m^3]	Input IlstenerAu [m^3]	Output IlstenerAu [m^3]	Input Rio Pusteria [m^3]
-0,75	2.400	2.776	3.559	3.541	3.471
-1,5	2.400	4.599	5.012	4.978	4.835
-2,25	2.400	7.344	7.120	7.058	6.835
-3,0	2.400	10.885	8.617	8.515	8208

Tabella 6.10: Volumi solidi trasportati in sospensione nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ5 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass

Uno svaso parziale in concomitanza con una HQ5 consente la rimozione dal bacino di Kniepass di una quantità di materiale grossolano compresa tra ca. 6.000 e 6.200 m^3 , mentre può essere scaricata verso valle una quantità materiale fino in sospensione variabile tra 3.000 e 10.000 m^3 . In totale risulta possibile rimuovere dal serbatoio tra 8.800 e 17.000 m^3 che si riversano nell'alveo della Rienza. Tale operazione consente quindi di sgomberare in caso di necessità l'area a ridosso delle opere di presa e della traversa e di fluitare verso valle una quantità di materiale pari almeno all'apporto medio annuo di materiale solido afferente

Δh [m]	Input Kniepass [mg/l]	Output Kniepass [mg/l]	Input IlstenerAu [mg/l]	Output IlstenerAu [mg/l]	Input Rio Pusteria [mg/l]
-0,75	259	611	2.099	2.495	1.535
-1,5	259	1.023	2.199	2.247	1.566
-2,,25	259	1.421	2.364	2.302	1.701
-3,0	259	2.806	2.652	2.626	1.877

Tabella 6.11: *Concentrazioni solide massime nei nodi cruciali del reticolo simulati nello scenario HQ5 considerato. Si indica con Δh l'abbassamento del livello di invaso simulato nel serbatoio di Kniepass*

all'invaso stesso, nonché di realizzare delle operazioni di venting per smaltire a valle l'onda di concentrazione in ingresso.

Gli stessi risultati sono riportati in forma grafica per tutti i nodi salienti del sistema (Figure 6.60 - 6.63) per gli scenari HQ5, che prevedono uno svaso parziale con abbassamento del livello di invaso pari a -2,25 m e -3,00 m. Da quanto risultante è possibile trarre alcune

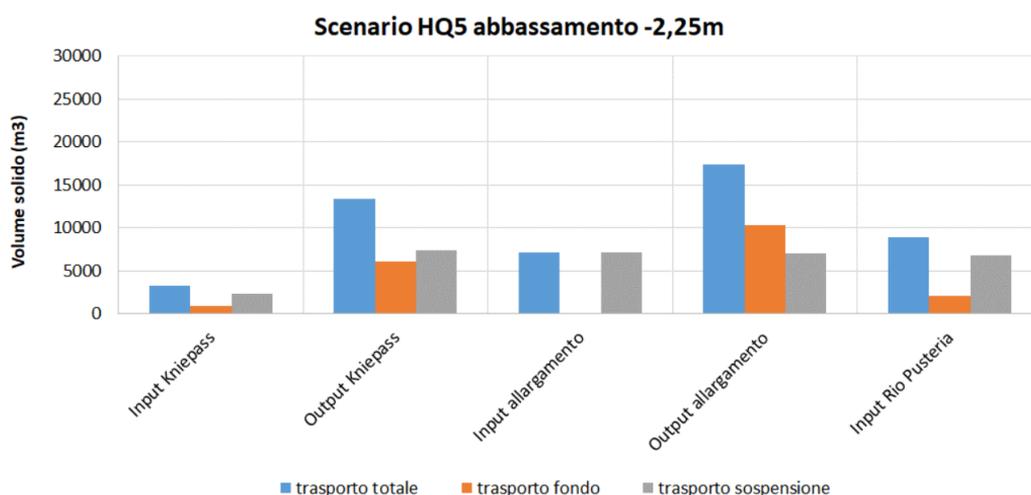


Figura 6.60: *Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ5 con svaso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra*

conclusioni:

- Come determinato per una HQ1, indipendentemente dalle quantità di materiale solido grossolano in ingresso, nel tratto subito a valle dello sbarramento di Kniepass si determina il deposito di gran parte del sedimento grossolano (quasi esclusivamente ghiaia e sabbia grossa), con un tasso di deposizione superiori al 95% del totale entro il primo km. Pertanto la quantità di sedimenti grossolani che arriva fino all'allargamento in località "Ilstener Au" è pressoché trascurabile. Al contrario, l'onda solida in sospensione

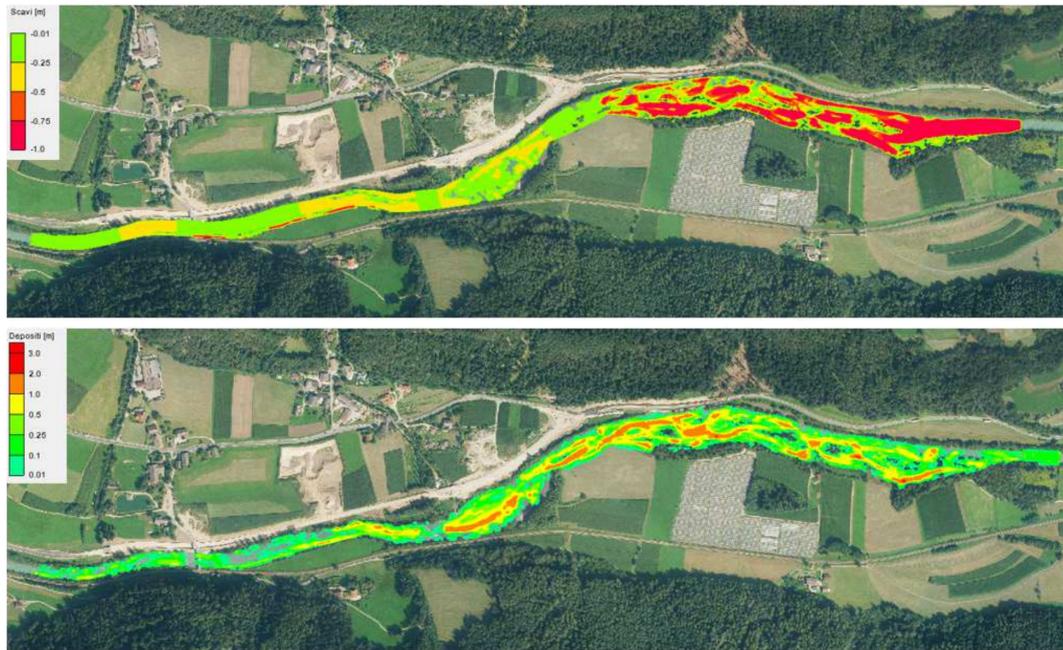


Figura 6.61: Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Istener Au" nello scenario HQ5 con svasso parziale a -2,25 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

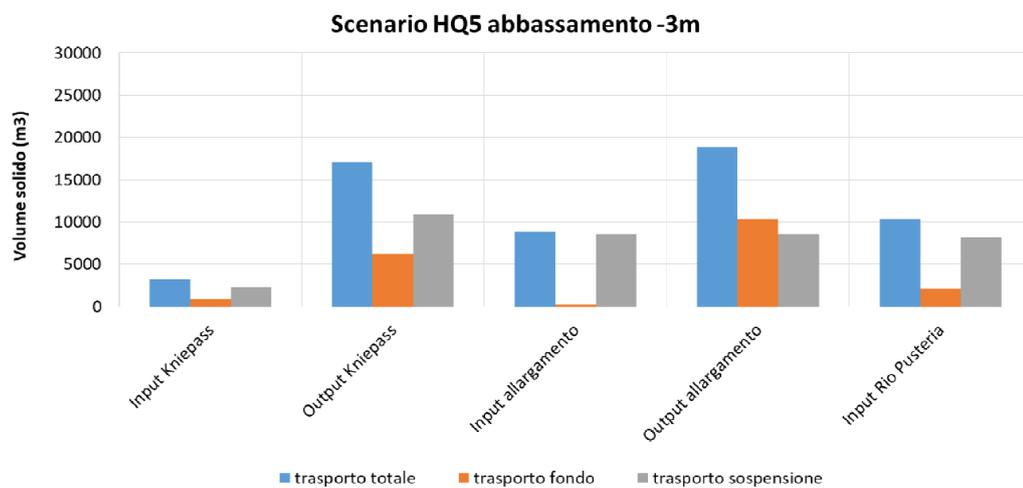


Figura 6.62: Volumi solidi trasportati al fondo, in sospensione e totali nei tratti in cui è stato segmentato il Fiume Rienza nel tratto di studio nello scenario HQ5 con svasso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

non subisce altrettanta laminazione, il tasso di abbattimento delle concentrazioni solide è molto limitato, solo una piccola parte tende a depositare, soprattutto nelle zone

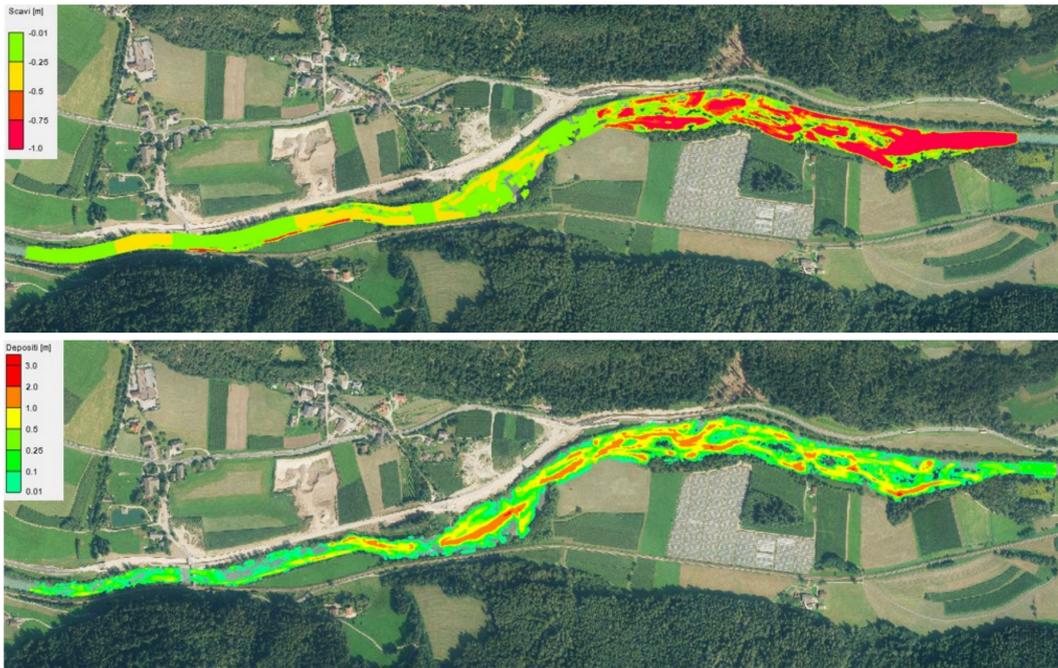


Figura 6.63: Scavi (sopra) e depositi (sotto) massimi registrati presso l'allargamento "Ilstener Au" nello scenario HQ5 con svaso parziale a -3,00 m e apertura parziale della paratoia di settore destra

golenali e nelle anse sotto sponda.

- Nell'allargamento si assiste invece ad un completo rimescolamento del materiale con erosioni importanti che portano all'asportazione di un quantitativo di materiale grossolano non irrilevante. L'allargamento risulta invece sostanzialmente trasparente all'onda di solido sospeso in ingresso, con tassi di deposizione molto contenuti (1-2%) e piccoli depositi che si verificano sotto sponda e nelle aree laterali a minore velocità. Come osservato per gli altri scenari, anche per la portata HQ5 si osserva la tendenza all'incisione del fiume Rienza nel primo tratto dell'allargamento, più pronunciata rispetto allo scenario HQ1.
- A valle, dove il fiume Rienza riprende la sua configurazione trapezoidale canalizzata, si assiste al deposito di quasi l'80% del materiale solido grossolano in uscita dall'allargamento, mentre si registra un tasso di abbattimento dei solidi in sospensione relativamente modesto variabile tra il 3 ed il 4%. È interessante notare che, nonostante l'incremento delle portate di progetto (da 165 a 200 m³/s), le percentuali di abbattimento del carico solido in questo tratto rimangono sostanzialmente inalterate. Nel bacino di Rio Pusteria si registrano in entrata ca. 2.100 m³ di materiale solido grossolano (indipendentemente dall'entità dello svaso parziale eseguito a Kniepass), e quantità variabili tra 3.500 e 8.200 m³ di materiale solido in sospensione per concentrazioni solide massime variabili tra 1.500 e 1.900 mg/l. Si nota in sostanza come il

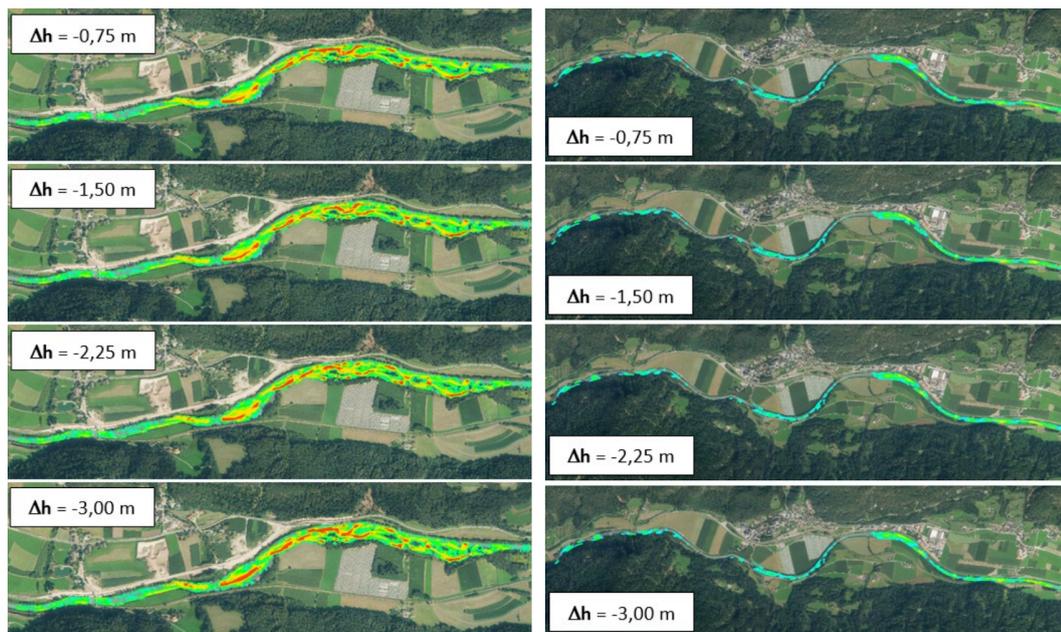


Figura 6.64: *Depositi massimi in funzione dell'abbassamento di livello a Kniepass nell'allargamento "Istener Au" (sinistra) e nel tratto di valle sino a Rio Pusteria (destra) per una HQ5*

contributo netto di trasporto solido che giunge sino al bacino di Rio Pusteria non varia sostanzialmente tra gli scenari HQ1 e HQ5.

Come riportato in Figura 6.64 infine, si nota che le dinamiche di deposizione del materiale solido a partire dall'allargamento "Istener Au" fino al serbatoio di Rio Pusteria sono sostanzialmente identiche indipendentemente dall'abbassamento di livello operato presso Kniepass, e quindi dalla quantità di materiale solido che viene scaricato da monte. Tale tendenza si esplica naturalmente in modo molto simile anche per una HQ1. Da un punto di vista modellistico emerge quindi la concreta possibilità di riuscire a rendere la traversa di Kniepass maggiormente trasparente al trasporto solido in ingresso rispetto allo stato attuale. Dalle simulazioni eseguite, emerge come effettuando uno svaso parziale con abbassamento del livello tra -2 e -3 m in occasione di una piena in ingresso pari a $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (grossomodo corrispondente alla massima piena annua ogni cinque anni, HQ5) per una durata di almeno 96 ore, con una parziale apertura di almeno una delle paratoie di settore, risulti possibile attivare una dinamica erosiva tale da consentire di rimuovere fino a ca. 20.000 m^3 di materiale. In questo modo, sarebbe possibile trasferire a valle anche le quantità di materiale grossolano mobilizzate all'interno del bacino con la soluzione tecnica illustrata al paragrafo precedente. Da un semplice confronto con quanto rimosso durante l'evento "VAIA" (245.000 m^3 di materiale solido scaricati nell'arco di poco più di una settimana), si intuisce la diversa portata delle operazioni da effettuarsi ed il diverso impatto che tali operazioni comportano sugli alvei e sugli impianti di valle.

6.2.9.4 Effetti sui bacini in cascata

Risulta imprescindibile valutare anche come gli approcci gestionali descritti nei paragrafi precedenti impattino la gestione degli impianti a valle. Circa 17 km a valle dello sbarramento di Kniepass è presente il bacino idroelettrico di Rio Pusteria, gestito da Alperia. Nell'ambito del progetto SEDIPLAN, le risultanze dello studio condotto a Kniepass sono state utilizzate anche per una dettagliata valutazione che il radicale cambio gestionale potrebbe avere sul sottostante bacino idroelettrico di Rio Pusteria.

Sarebbe stato altrettanto interessante considerare nello studio condotto anche gli effetti delle fluitazioni e degli svassi operati presso il bacino idroelettrico di Monguelfo, a servizio della centrale idroelettrica di Brunico gestita sempre da Alperia. Tali scenari non sono stati affrontati nello studio condotto presso Kniepass, ma rimangono comunque di interesse nell'ambito di un Piano di Gestione dei Sedimenti di area vasta che comprenda le intere aste fluviali dei Fiumi Rienza ed Isarco.

6.2.10 Considerazioni finali

6.2.10.1 Gestione ottimale del materiale solido

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti si evincono i limiti e le criticità legate all'attuale strategia di gestione del sedimento presso l'impianto di Kniepass. Si riassumono di seguito le azioni che potrebbero portare ad un netto miglioramento della situazione attuale:

- adottare una strategia di gestione basata su **svassi parziali opportunamente progettati** invece che su operazioni di svasso totale una tantum in occasione di eventi idrologici intensi, consentirebbe di risolvere le diverse criticità attualmente in essere con esborsi economici del tutto marginali per il Gestore;
- lo scarico di materiale solido precedentemente accumulato con **maggior frequenza e minor magnitudo** consentirebbe di alleggerire il carico solido presente all'interno del bacino aumentando di fatto la trasparenza dello stesso. La sua funzionalità verrebbe migliorata riducendo nel contempo il tasso di interrimento progressivo e mantenendo un volume utile di invaso maggiore, seppur non direttamente connesso alla produzione idroelettrica nel caso in esame;
- le attuali tecnologie di **monitoraggio ed uno scambio sinergico di informazioni** tra Gestori, Uffici provinciali e Protezione Civile consentono l'adozione di un sistema di allerta ed intervento emergenziale ridondante ed efficiente, fatto che fino a pochi decenni fa non era ovviamente possibile;
- il cambio di ottica gestionale richiamato nei paragrafi precedenti è collegato a costi gestionali che non eccedono affatto quanto realizzato sinora. Anzi, sul lungo periodo si potrebbe configurare anche una **riduzione dei costi** di gestione e manutenzione, non solo per il Gestore dell'impianto oggetto di studio ma anche per i gestori degli impianti di valle.

Un aumento della frequenza degli svasi parziali consentirebbe sostanzialmente di gestire in modo più sostenibile il materiale solido all'interno del bacino, mitigando notevolmente le problematiche legate al rischio idraulico in essere e garantendo nel contempo una certa continuità del trasporto solido nell'ambiente fluviale. Si dimostra come un cambio netto di strategia non comporta costi aggiuntivi per il Gestore, ottimizza sostanzialmente quanto ad oggi effettuato e nel contempo minimizza gli effetti per gli impianti di valle. Nel complesso pertanto una variazione nella gestione di tali operazioni risulta senza ombra di dubbio vantaggiosa, anche e soprattutto in termini operativi e gestionali per il Gestore. Occorre infine sottolineare come allo stato attuale anche la mera comunicazione tra i diversi Gestori idroelettrici che operano lungo l'asta della Rienza è quantomeno fallace. Si ritiene che migliorando le strategie di comunicazione e la collaborazione tra i Gestori stessi e gli Uffici provinciali preposti al controllo delle operazioni sia possibile instaurare preziose strategie a lungo termine sostenibili su tutti i fronti.

6.2.10.2 Implicazioni ambientali, ittiche ed eco-morfologiche

Nell'ambito dello studio effettuato presso l'impianto di Kniepass non sono state approfondite tutte le implicazioni che le prospettate misure di gestione dei sedimenti generano per le specie ittiche e zoobentoniche che popolano il Fiume Rienza. In via del tutto qualitativa e rimandando ad un successivo approfondimento, qualora di interesse, si sottolineano i seguenti aspetti:

- Dalle simulazioni condotte emerge come **operazioni di svaso parziale effettuate a cadenza annuale o quinquennale rappresentino di fatto un evento positivo di disturbo per gli ambienti acquatici** a valle di Kniepass, richiamando di fatto quegli eventi di piena naturali che oggi sono inibiti dalla presenza degli sbarramenti idroelettrici. Un aumento della frequenza negli apporti di materiale solido a valle della traversa va di fatto ad alimentare le dinamiche di trasporto solido, che a valle della traversa di Kniepass risultano deficitarie. Si determina una situazione di deposizione temporanea di materiale ghiaioso nell'alveo di valle (in lingua tedesca Umlagerung), la cui presenza verrebbe valorizzata dalla ciclicità stagionale delle piene naturali (tra morbide estive e autunnali) venendo questi trasportati ad ogni evento più a valle. Qualora l'immissione di materiale grossolano avvenisse con una certa frequenza e regolarità ogni 1-2 anni nelle modalità descritte precedentemente, si innescherebbe un processo di disturbo ciclico a livello dei substrati sicuramente positivo per l'ecosistema acquatico. Scegliendo invece di proseguire con l'attuale strategia di gestione, si determinerebbero in futuro eventi di rimozione di quantità sempre crescenti di sedimenti, che verrebbero in parte reintrodotti a valle come fatto sinora ed in parte allontanate dagli ambienti fluviali. Pertanto la situazione di deficit morfologico tenderebbe ad essere sempre più enfatizzata.
- Una **frequenza maggiore negli apporti di materiale solido** a valle della traversa di Kniepass andrebbe di fatto anche a creare un disturbo nell'area riqualificata dell'allargamento in località "Ilstener Au". Il trasporto di substrato "fresco", anche in piccole

quantità, contribuirebbe in ogni caso ad una rimodulazione del fondo, che consentirebbe quindi anche di **umentare la variabilità degli habitat**, non solo spaziale ma anche temporale. Occorre sottolineare anche come le valutazioni modellistiche effettuate hanno palesato un marginale tasso di deposizione del materiale solido fine sospeso, restituendo di fatto una sostanziale "trasparenza" dell'allargamento alle onde solide in sospensione, quanto meno per piene con tempi di ritorno contenuti (HQ1 e HQ5). Pertanto non si attende un peggioramento del grado di colmatazione del fondo, anche se, in caso di adozione delle misure, un monitoraggio della colmatazione risulta necessario. Le simulazioni indicano chiaramente come il Fiume Rienza tenda ad incidersi in modo netto andando a ricostituire la conformazione sostanzialmente canalizzata che aveva prima dell'intervento. Per portate importanti (HQ25-30) i fronti di scavo sarebbero generalizzati e relativamente profondi e verrebbe asportato gran parte del substrato (sia fine che grossolano). Pertanto, accoppiare operazioni di svaso totale e fluitazione a piene intense severe (HQ>10) sarebbe controproducente per l'intero sistema ecomorfologico dell'allargamento;

- Le simulazioni dimostrano che l'effetto di buffer atteso nei confronti del materiale solido presso l'allargamento "Ilstener Au" non si verifica, data la sostanziale trasparenza dell'allargamento agli input solidi più fini. Pertanto, anche **la progettazione di questi interventi di riqualificazione dovrebbe tener conto delle dinamiche legate al trasporto solido** soprattutto in alvei antropizzati come quello oggetto di studio. Come illustrato nel presente capitolo, si ritiene che l'allargamento sia stato realizzato troppo distante dal bacino di Kniepass (perdendo così il potenziale effetto di buffer solido di cui sopra) e nel contempo troppo vicino al bacino di Rio Pusteria (le simulazioni dimostrano come una parte del materiale grossolano mobilizzato nell'allargamento riesca a raggiungere anche Rio Pusteria). Risulta comunque possibile ottimizzare questa tendenza adottando delle misure locali sia strutturali (ad es. pennelli) che morfologiche in modo da garantire una distribuzione migliore dei sedimenti all'interno dell'allargamento, aumentandone quindi anche la capacità di intrappolamento. Occorre inoltre pensare a delle misure di rifugio per le specie ittiche presenti, con la creazione di aree di back water, l'apertura di nuovi piccoli rami secondari ed il ripristino della connessione idraulica della rete di canali e fossati laterali soprattutto in orografica sinistra;
- I picchi di concentrazione generati dalle operazioni di svaso parziale simulati (variabili tra 1.500 e 2.700 mg/l a seconda della configurazione) sono sostanzialmente in linea con i valori caratteristici delle piene naturali del Fiume Rienza. Si cita ad esempio la morbida tardo primaverile di fine maggio 2019. Prima dell'inizio delle operazioni di fluitazioni effettuate presso il bacino di Rio Pusteria da Alperia le concentrazioni solide in sospensione registrate dai torbimetri installati hanno registrato picchi variabili tra 1.000 e 2.500 mg/l, del tutto paragonabili a quelli simulati in relazione agli scenari di progetto. Secondo la letteratura internazionale tali valori di concentrazione solida risultano sostenibili dagli ecosistemi acquatici. Anche gli effetti negativi indotti dall'aumento di portata, e quindi di velocità di flusso, che generalmente si osservano sul novellame, potrebbero essere mitigati da una fase iniziale di modulazione dello sva-

so in modo da limitare le velocità di up-ramping delle onde liquide (riducendo così il rischio di drift). Contestualmente anche le velocità di down-ramping in coda di piena, in modo da evitare gli spiaggiamenti (stranding) potrebbe essere opportunamente valutata.

Un'analisi di dettaglio di tali implicazioni, come anticipato, non è stata affrontata in dettaglio da un punto di vista idro-morfologico e limnologico. Ciò non inficia la bontà delle soluzioni individuate che, qualora progettate in dettaglio e successivamente implementate, dovranno essere correlate da un'attenta valutazione sito-specifica delle condizioni della fauna ittica e dello zoobenthos presenti in modo da progettare in modo accorto le fasi iniziali e finali delle operazioni di svasso. Nell'ambito del progetto SEDIPLAN una caratterizzazione di massima della popolazione zoobentoniche è stata già effettuata, si rimanda a quanto descritto nel paragrafo 6.3.8.

6.3 Rio Pusteria

6.3.1 Premessa

L'impianto di Rio di Pusteria è l'ultimo nel tratto del Fiume Rienza e raccoglie le acque di tutto il relativo bacino imbrifero. Essendo l'ultimo impianto del sistema idrico del Rienza, rappresenta anche il recettore finale dei sedimenti movimentati dai bacini a monte.

6.3.2 Schema impianto del sistema idroelettrico della centrale di Bressanone: i bacini di Fortezza e Rio di Pusteria

Il bacino di Rio di Pusteria fa parte di un complesso sistema idraulico che fa capo alla centrale idroelettrica di Bressanone (Figura 6.65). Negli anni Venti del XX secolo ci fu un notevole interesse per le risorse idroelettriche nell'arco alpino, ed in particolare per i fiumi Isarco e Rienza. La città di Bressanone nel 1921 sottopose alle autorità italiane competenti un grande progetto per lo sfruttamento parallelo dei due fiumi. Due anni dopo, nel 1923, seguì il progetto proposto dalle ferrovie dello Stato. Negli anni seguenti furono presentate tre ulteriori richieste di concessione con i relativi piani di sfruttamento, dei quali due da parte della "Società Elettrica Alto Adige" (SEAA). La licenza edilizia fu concessa solo nel 1936. Essa fu assegnata alle ferrovie dello Stato e all'alleata SEAA, la quale, essendo i progetti già pronti nei minimi dettagli, si mise subito all'opera ed entro due anni il progetto fu realizzato. L'impianto fu costruito negli anni tra il 1936 e il 1941.

La centrale di Bressanone fu costruita qualche centinaio di metri a monte della confluenza tra l'Isarco e la Rienza. La sala macchine fu scavata all'interno di una caverna lunga 85 m, larga 15 m e alta 18 m. Essa è raggiungibile attraverso un tunnel di accesso della lunghezza di 60 m. Il salto lordo dell'impianto (dai serbatoi fino alle turbine) è di circa 164 m e la portata massima derivabile è di 70 m³/s.

6.3.3 Il bacino di Rio di Pusteria: aspetti generali

Il bacino idroelettrico di Rio di Pusteria è stato realizzato durante gli anni 1938-1940 tramite la costruzione di uno sbarramento a gravità in calcestruzzo trascinabile (Figura 6.66). Il corso d'acqua interessato è il Fiume Rienza, circa 12,5 km a monte della confluenza con il Fiume Isarco a Bressanone.

Dal punto di vista tecnico, la diga di Rio di Pusteria presenta una quota di massimo invaso pari a 723 m s.l.m.m. ed una capacità utile di invaso di circa $1,69 \times 10^6$ m³ alla sua realizzazione. La sua altezza, dal piano di coronamento a quota 726,5 m s.l.m.m. al piano dell'alveo a valle, è pari a 25 m. Il bacino imbrifero che viene sotteso dalla diga è di circa 2.000 km².

La gestione del bacino di Rio di Pusteria è influenzata dalla presenza a monte di altre derivazioni a scopo idroelettrico presenti sull'asta del Rienza. Fra queste, la derivazione di Kniepass, è quella posta immediatamente a monte a circa 17 km.

Il bacino di Rio di Pusteria, a causa dell'elevato apporto di materiale fine che tende a depositarsi al suo interno, necessita di regolari manovre di pulizia del sedimento. Ad oggi, tutti gli eventi di pulizia sono stati effettuati tramite operazioni di flushing (fluitazione), ossia di

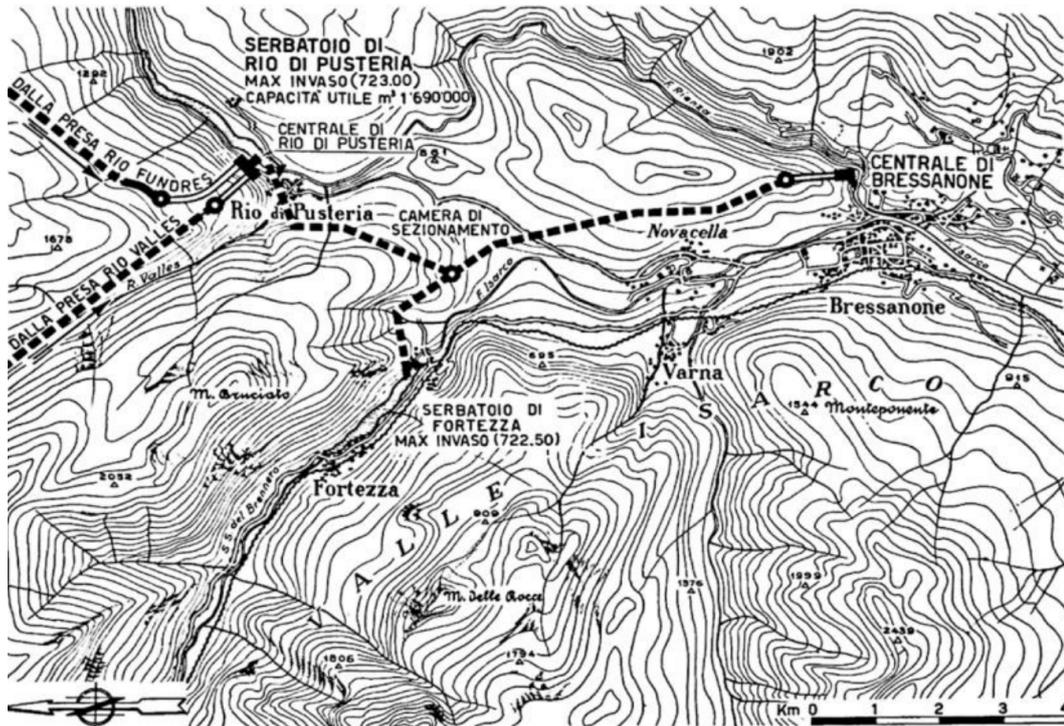


Figura 6.65: Schema idraulico della centrale di Bressanone con indicazione delle prese, dei bacini di Fortezza e Rio di Pusteria, delle condotte di adduzione e della condotta forzata (fonte: *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL*)



Figura 6.66: Vista aerea del bacino di Rio di Pusteria (sinistra) e ingrandimento con vista aerea della zona della diga (destra) (fonte: *Google Earth*)

svuotamento completo controllato del volume di invaso, al fine di permettere l'asportazione di materiale tramite un processo di erosione operato dal Fiume Rienza. Tale massa di acqua e di sedimento viene quindi fatta fluire attraverso gli scarichi di fondo in corpo diga, che potrebbero, in condizioni eccezionali, permettere una portata massima di scarico pari a $904 \text{ m}^3/\text{s}$. Storicamente le operazioni di flushing, con frequenza triennale-quadriennale, hanno permesso una rimozione media di circa 700.000 m^3 di materiale solido per ogni operazio-

ne di pulizia. In particolare, l'ultimo evento di flushing, avvenuto fra il mese di Maggio e di Giugno 2019, ha permesso una rimozione di circa 580.000 m³ di materiale. Tale materiale, depositatosi fra il 2014 ed il 2019, è in parte dovuto alla fluitazione dell'invaso Kniepass nel 2018 durante l'evento "VAIA".

6.3.4 Dati tecnici del bacino di Rio di Pusteria.

Vengono di seguito riportati i dati tecnici del bacino di Rio di Pusteria, tratti da "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL" (Figure 6.67 - 6.69).

Il bacino di Rio di Pusteria ha la finalità di regolazione giornaliera e settimanale dell'energia dell'impianto di Bressanone, insieme al bacino di Fortezza. I principali dati tecnici riguardi il serbatoio sono:

- livello di massimo invaso 723 m s.l.m.m.;
- livello di massima piena 725 m s.l.m.m.;
- capacità di invaso complessiva alla realizzazione 2,04 m³ x 10⁶;
- capacità di invaso utile alla realizzazione 1,69 m³ x 10⁶;
- superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso 2.008 km² ;
- superficie del bacino imbrifero allacciato (Isarco) 680 km²;
- superficie del bacino imbrifero totale 2.688 km².

Dal punto di vista geologico, il bacino ricade in una valle di origine glaciale costituita da roccia granitica non alterata ed impermeabile.

La sezione dello sbarramento è incisa nella stessa roccia granitica del serbatoio e presenta buone caratteristiche di resistenza ed impermeabilità nella parte centrale ed in sinistra. La sponda destra invece, di natura alluvionale incoerente, ha richiesto la costruzione di un diaframma in calcestruzzo di lunghezza circa 70 m ed altezza circa 46 m, spinto sino all'immorsamento nella roccia granitica.

Per quanto riguarda il corpo diga, questo è a gravità, in calcestruzzo, con andamento planimetrico rettilineo, munito di ampi scarichi profondi e tracimabile nella parte centrale.

- Altezza del piano di coronamento (a quota 726,5 m s.l.m.m.):
 - sul punto più depresso delle fondazioni 26,1 m
 - sul piano generale di fondazione 25,5 m
 - sul piano dell'alveo a valle 25,0 m
- Franco rispetto al piano di coronamento:
 - sul livello di massimo invaso 3,5 m
 - sul livello di massima piena 1,5 m
- Sviluppo del coronamento tra le pareti interne dei muri d'ala 32,5 m

- Inclinazione del paramento a monte Verticale
- Inclinazione del paramento a valle 0,8
- Volume della diga 5.000 m³

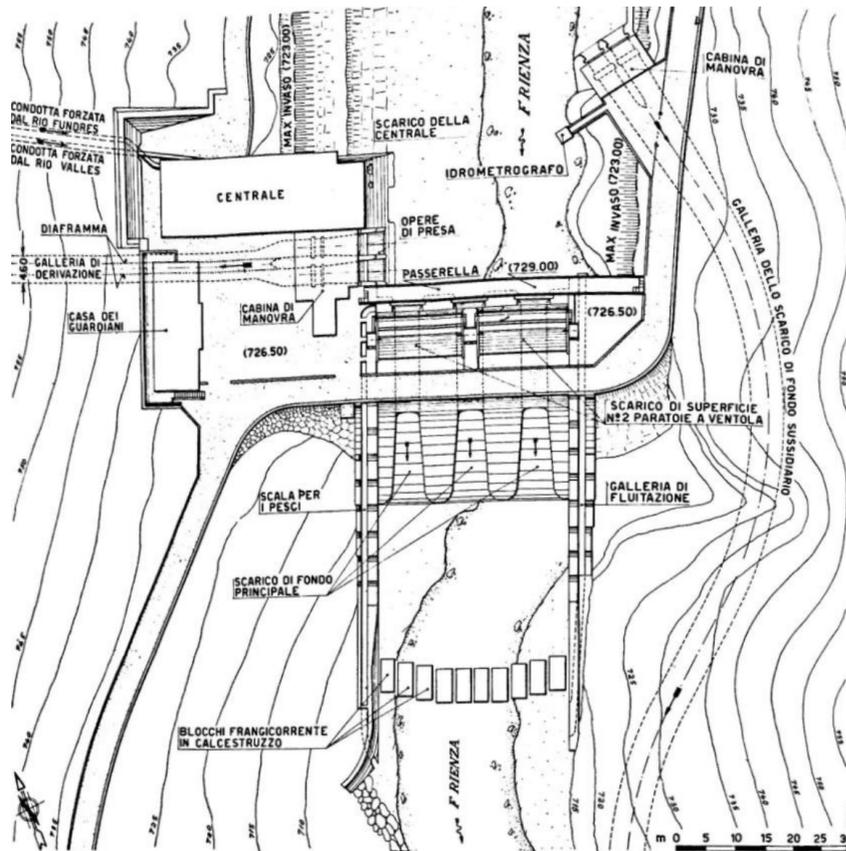


Figura 6.67: Vista planimetrica del corpo diga con indicazione dei vari organi (fonte: *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL*)

Il corpo della diga è in calcestruzzo dosato a 200 - 225 kg di cemento per m³ di impasto. Nella parte centrale dello sbarramento, delimitata da due brevi tronchi massicci, sono state ricavate due ampie luci della lunghezza di 15 m ciascuna, con soglia a quota 719 m s.l.m.m., intercettate da paratoie. Tre scarichi profondi, a sezione quadrangolare di 4,5 m x 4,5 m, attraversano la diga anche nella parte mediana.

I paramenti delle pile e dei tronchi laterali sono rivestiti in bognini di granito per un'altezza di 2 m dall'imbocco degli scarichi di fondo fino alle paratoie e di 1,2 m lungo gli scarichi stessi. Gli scivoli sagomati secondo il profilo Creager, sono in bognini.

Il sistema drenante è costituito da una serie di canne verticali facenti capo ad un cunicolo di raccolta e scarico drenaggi a quota 703,5 m s.l.m.m..

La diga è divisa in tre parti da due giunti di costruzione disposti ad interasse di 10,6 m, successivamente sigillati a ritiro avvenuto.

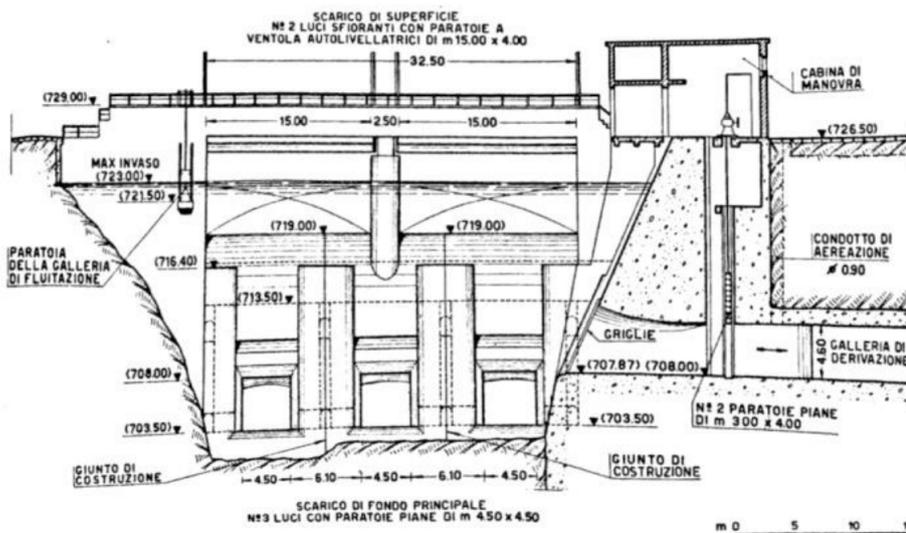


Figura 6.68: Vista frontale da monte della diga (fonte: *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL*)

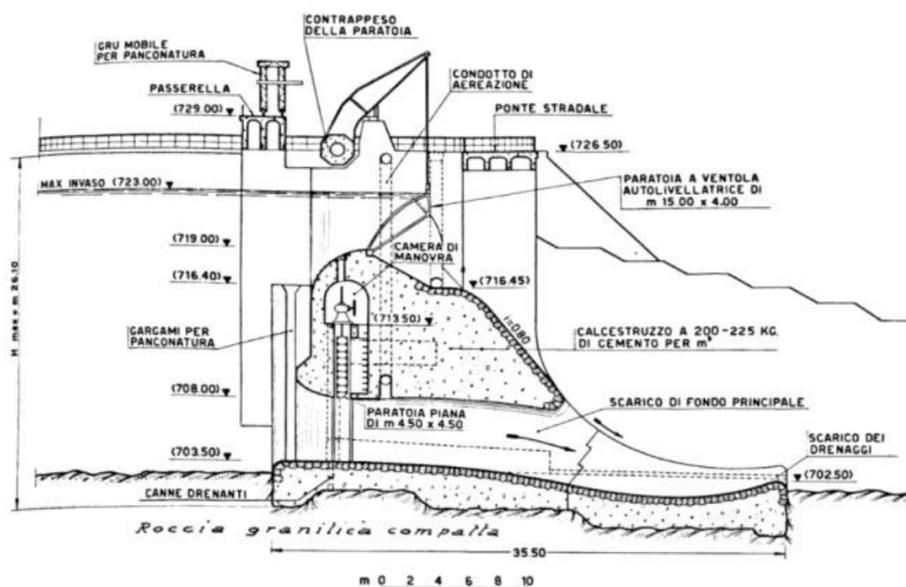


Figura 6.69: Sezione laterale degli organi di scarico di superficie e di fondo principali (fonte: *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani - ANIDEL*)

In sponda destra, in corrispondenza del materiale alluvionale incoerente, è stato costruito ed immersato nella sottostante roccia granitica compatta un robusto diaframma in calcestruzzo. Il diaframma, nel quale è ricavato il primo tronco della galleria di derivazione, ha un'altezza massima di 46,1 m, una lunghezza di 69,85 m ed uno spessore di 2 m nella parte superiore

alla galleria di presa e di 4 m dalla quota di fondo (708 m s.l.m.m.), fino alle fondazioni.

Allo scopo di evitare scalzamenti, la platea di fondazione della parte mediana è stata prolungata verso valle, nell'alveo, per una quindicina di metri. Circa 30 m a valle del termine della platea, è disposto uno sbarramento costituito da blocchi frangicorrente prismatici in calcestruzzo.

In sponda destra è stata ricavata una scala per i pesci, in sponda sinistra una galleria di fluitazione per il legname.

Le opere di scarico presenti sono costituite dallo scarico di superficie per tracimazione, dallo scarico di fondo principale e da uno scarico di fondo sussidiario.

Lo scarico di superficie è costituito da due ampie luci ricavate nella parte mediana della diga, con soglia a quota 719 m s.l.m.m., intercettate da paratoie a ventola autolivellanti di 15 m x 4 m, comandabili anche a trasmissione d'olio.

Lo scarico di fondo principale è formato da tre cunicoli a sezione quadrangolare con soglia d'imbocco a quota 703,5 m s.l.m.m. che attraversano la parte mediana della diga. Essi sono intercettati, in corrispondenza dell'imbocco, da paratoie piane di 4,5 m x 4,5 m. Gli organi di comando delle paratoie sono collocati in camere di manovra ricavate nel corpo stesso della diga. Le acque vengono scaricate alla base dello scivolo dello scarico di superficie.

Lo scarico sussidiario è ubicato in sponda sinistra, poco a monte della diga, e consiste in una galleria con sezione a ferro di cavallo di 6,7 m x 7,1 m e dello sviluppo di circa 160 m. L'imbocco con soglia a quota 704 m s.l.m.m., è diviso da un setto in calcestruzzo in due luci di 3,2 m x 5,2 m ciascuna, intercettate da due paratoie piane in parallelo, comandabili dall'alto da una apposita cabina.

Complessivamente le portate che possono essere scaricate dagli organi di scarico sono:

- scarico di superficie 425 m³/s;
- scarico di fondo principale 904 m³/s;
- scarico di fondo sussidiario 500 m³/s;
- totale 1.829 m³/s.

6.3.5 Considerazioni sulla gestione dei sedimenti

6.3.5.1 Apporto di sedimenti all'invaso di Rio di Pusteria

Sulla base della differenza tra le batimetrie del bacino di Rio di Pusteria rilevate da Alperia nel Giugno 2014 post-flushing e nel Maggio 2019 pre-flushing, il contributo totale del trasporto solido relativo al quinquennio è stato stimato pari a 453.787 tonnellate (corrispondente ad un tasso di interrimento pari a circa 91.000 tonnellate/anno). Tale contributo è dovuto all'erosione del suolo e al trasporto dei sedimenti nella Rienza, afferenti al bacino di Rio di Pusteria durante i cinque anni.

Tale valore derivante da bilancio batimetrico è stato confrontato con il valore calcolato come erosione del suolo nel bacino idrografico a monte di Rio di Pusteria e fino alla traversa del Kniepass, tramite l'approccio "Universal Soil Loss Equation (USLE)", per lo stesso periodo. L'erosione lorda del suolo è stata convertita in una quantità di sedimento netto nel

bacino idrografico come valore medio di quattro diverse formule di trasporto solido, che sono rappresentative delle diverse caratteristiche topografiche del bacino. Il risultato finale dei sedimenti in ingresso nel bacino di Rio di Pusteria, per l'intero periodo, ammonta a 390.503 tonnellate. Questo valore è ritenuto soddisfacente per la validazione del modello, in quanto dello stesso ordine di grandezza e molto vicino a quello stimato mediante la differenza di rilievi batimetrici. Parte della quota di sedimento mancante nel valore ottenuto tramite modellazione rispetto al valore derivante da differenza batimetrica è da ascrivere alla mancata valutazione del contributo di Kniepass.

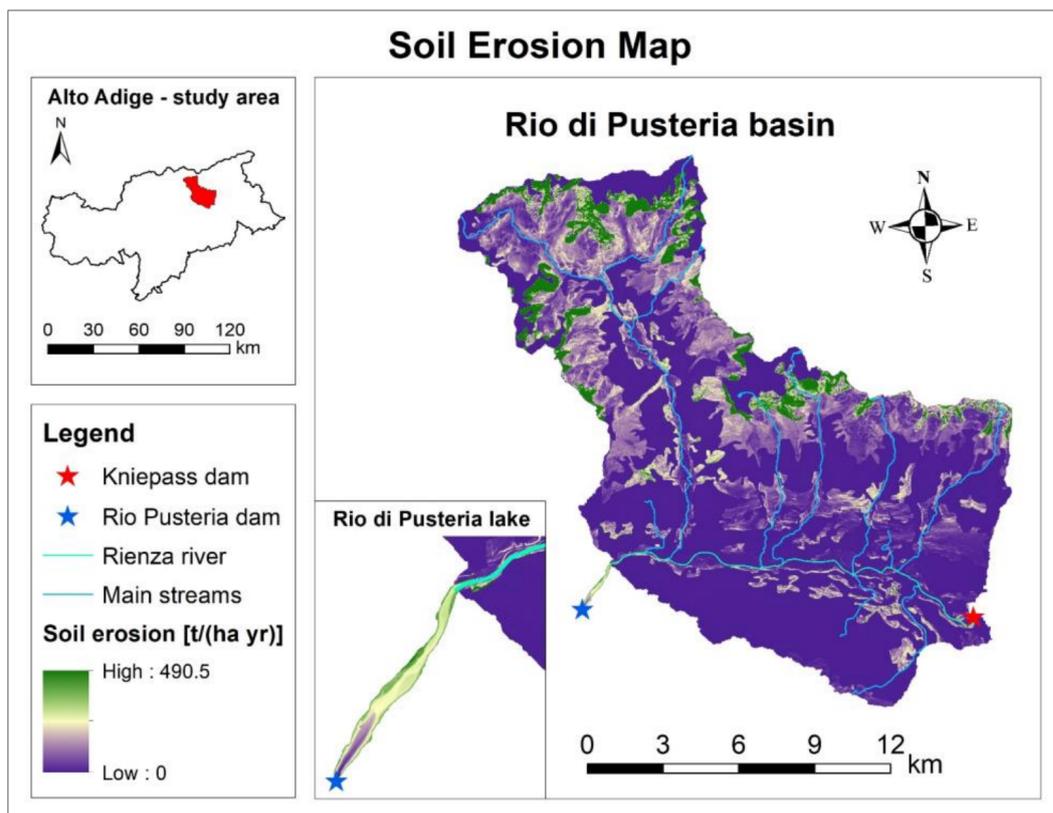


Figura 6.70: *Mapa dell'erosione media annuale nel bacino idrografico di Rio di Pusteria*

Infatti, come si può osservare in Figura 6.70, il bacino idrografico del Rienza chiuso alla diga di Rio di Pusteria, non è completamente naturale, in quanto è delimitato a monte dalla traversa della centrale Kniepass. Si comprende quindi che la traversa di Kniepass crea la condizione al contorno di monte per quanto riguarda la modellazione idrologica del bacino, ma il dato relativo all'apporto di sedimenti dalla traversa è incognito. Seppure questo contributo è presumibilmente minoritario rispetto a quello provocato dall'erosione del suolo nell'interbacino, la sua mancata valutazione genera un deficit nel bilancio totale di sedimenti nel modello rispetto al calcolo da rilievo batimetrico.

Questo deficit è costituito per lo più dalla quota di sedimenti in sospensione usciti dalla traversa di Kniepass abbastanza leggeri e fini da poter essere trasportati fino al lago di Rio

Pusteria senza essere depositati nel mezzo. Osservazioni in campo e studi ulteriori hanno dimostrato che il materiale grossolano che esce da Kniepass si deposita entro i primi 1-3 km e non raggiunge mai l'invaso di Rio di Pusteria. Inoltre, il fondo del Fiume Rienza, sia a monte che a valle di Kniepass, è fortemente corazzato e quindi non contribuisce al trasporto solido che viene poi sedimentato nell'invaso di Rio di Pusteria.

6.3.5.2 Gestione del sedimento depositato nell'invaso di Rio di Pusteria

La gestione attuale del sedimento presente nell'invaso di Rio di Pusteria avviene tramite la rimozione dello stesso grazie a manovre di fluitazione (o flushing), ossia di apertura degli scarichi di fondo della diga con progressivo rilascio dei sedimenti verso valle ad opera della forza erosiva del corso d'acqua. Con questa tecnica il bacino in pochi giorni viene svuotato completamente fino ad un funzionamento a "canaletta"² che permette una rimozione elevata del sedimento. Data la conformazione del bacino di Rio di Pusteria, che presenta un andamento planimetrico molto allungato lungo il corso del Fiume Rienza, con un relativo piccolo allargamento laterale, le operazioni di flushing hanno un'ottima capacità di rimozione del sedimento.

Le operazioni di flushing necessitano di idonee condizioni al contorno per quanto riguarda la portata presente nella Rienza. Una portata troppo bassa infatti non permette una rimozione adeguata del sedimento e di conseguenza, in questi casi, si preferisce aspettare condizione idrologiche più adeguate.

Da sottolineare che tali operazioni vengono effettuate in modo quasi regolare negli anni, circa ogni 3 - 5 anni. Ciò è dovuto al fatto che il bacino di Rio di Pusteria è l'ultimo serbatoio prima della gola del Rienza ed è quindi recettore dei sedimenti prodotti e rilasciati dalle altre traverse e dighe presenti a monte. In particolare, l'impianto di Kniepass, circa 16 km a monte del bacino di Rio di Pusteria, negli anni ha subito un forte interrimento, risultando di fatto "trasparente" ai sedimenti trasportati da monte (6.2.1.2).

Per quanto riguarda le fluitazioni registrate dopo il 2000, queste sono avvenute negli anni 2001, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009, 2013, 2014 e 2019.

In Tabella 6.12 sono riportati gli andamenti delle principali fluitazioni operate negli anni presso il bacino di Rio di Pusteria (dati forniti da Alperia).

Operativamente, il gestore dell'impianto presenta un progetto di gestione che deve essere approvato. Nel progetto di gestione vengono definiti i valori soglia di torbidità da rispettare durante le operazioni di flushing. Durante il flushing del 2019 i valori soglia da rispettare sono stati imposti come:

- valore < 0,3 vol% nelle prime 12 ore;
- valore medio non oltre 1,00 vol% calcolato come media per un periodo di due ore;
- valore massimo non oltre 1,50 vol% per un periodo di 20 minuti;
- valore medio non oltre 0,7 vol% durante l'intero periodo di svaso.

²Con questo termine si intende la condizione idrodinamica in cui il fiume scorre sul fondo del lago senza essere intercettato o rigurgitato dalla traversa. In queste condizioni la corrente idrica scava e rimuove il sedimenti presenti nel serbatoio.

Anno	Torbidità media durante flushing [%]	Volume rimosso [m ³]	Durata flushing [gg]
2001	0,66	915.879	12
2004	0,582	641.249	12
2008	0,34	531.766	17
2014	0,583	1.049.081	15
2019	0,42	580.542*	18

Tabella 6.12: *Dati delle fluitazioni principali del bacino di Rio di Pusteria.* * dato ottenuto dalla differenza di DEM, DoD (DEM/DTM of difference)

6.3.6 Rilievi batimetrici

Durante la fluitazione del 2019, il gestore ha deciso di effettuare dei rilievi fotogrammetrici-batimetrici del bacino pre- e post- svaso al fine di determinare in modo accurato il volume di sedimento che è stato asportato. Si riportano di seguito le date relative ai rilievi topografici/batimetrici:

- 11.04.2019 rilievo fotogrammetrico della parte emersa;
- 07.05.2019 rilievo batimetrico della parte sommersa;
- 12.06.2019 rilievo laser scanner della parte emersa nella fase conclusiva dello svaso;
- 20.06.2016 rilievo batimetrico della parte centrale del bacino post-svaso.

Dai dati rilevati risultano i seguenti volumi:

Situazione ante svaso di Maggio 2019:

- volume totale 1.456.208 m³;
- volume utile invaso (rispetto alla minima quota di regolazione) 1.347.358 m³.

Situazione post svaso

- volume totale 2.035.696 m³;
- volume utile invaso (rispetto alla minima quota di regolazione) 1.661.840 m³.

La differenza nel volume totale fra la situazione ante- e post- svaso è pari a circa 580.000 m³. In Figura 6.71 viene riportata la differenza di quota post- e pre- fluitazione 2019. La Figura 6.72 evidenzia lo stato finale dell'operazione di flushing.

Si nota che la fluitazione ha riportato i volumi di invaso totale ed utile a valori molto simili a quelli del progetto del 1940.

6.3.7 Presentazione del modello numerico e degli scenari

6.3.7.1 Modello Numerico

Le simulazioni sono state realizzate con un modello numerico sviluppato da UNIBZ, in grado di risolvere le equazioni di Navier-Stokes non-idrostatiche, incomprimibili (per canali chiusi,

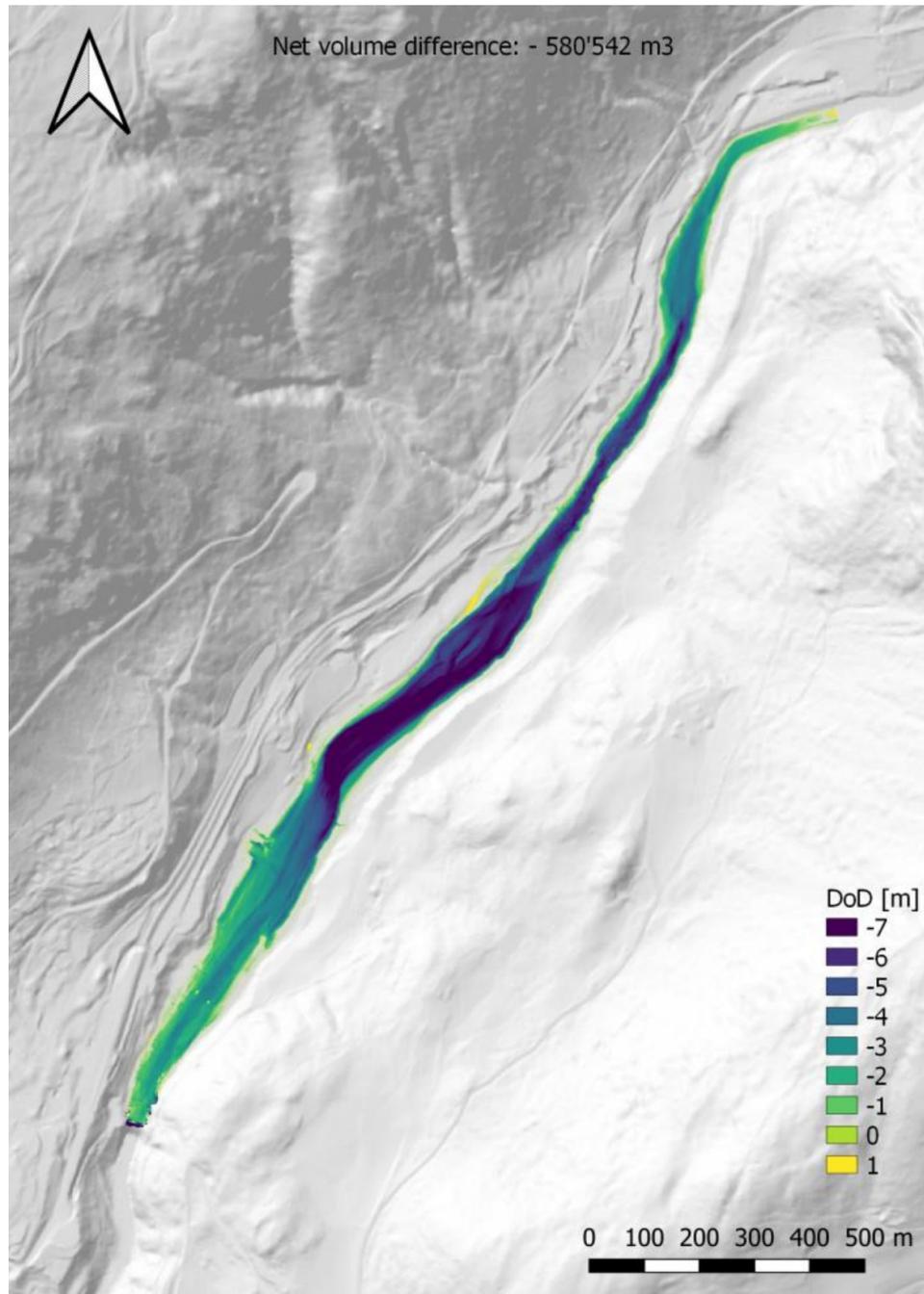


Figura 6.71: *Differenza di quota post- e pre- fluitazione. Valori negativi indicano l'erosione del deposito. In alcune piccole aree si notano dei fenomeni di deposito dovuti alla movimentazione del sedimento da monte verso valle*

strutture in pressione) anche per acque basse, con possibilità di bagnare e asciugare nuove celle del dominio durante la stessa simulazione.

Il modello funziona automaticamente in 1D, 2D e 3D a seconda della complessità della geo-



Figura 6.72: Vista verso valle (verso la diga) del bacino di Rio di Pusteria durante la fase finale delle operazioni di flushing. Si nota il notevole asporto del materiale fine

metria, e richiede che il dominio sia rappresentato da una mesh triangolare non strutturata generata con il tool Basemesh.

La capacità di modellare fenomeni tridimensionali (3D) è di primaria importanza per la corretta simulazione delle dinamiche in prossimità degli scarichi di fondo della diga. Questo fenomeno è molto importante nel caso del bacino di Rio di Pusteria (in cui l'altezza d'acqua dal fondo scarico al livello di massimo invaso è circa 20 m). Infatti, quando il bacino viene svuotato, il suo funzionamento è assolutamente rappresentabile da un moto a luce di fondo in pressione, e quindi anche il fenomeno dell'erosione localizzata in prossimità degli scarichi può essere meglio descritto con un approccio tridimensionale.

Il modello è in grado di rappresentare erosione e deposito del materiale dal fondo, erosione del materiale dalle sponde con collasso arginale, e trasporto in sospensione del materiale.

6.3.7.2 Scenari

Il modello è stato calibrato sull'evento di fluitazione dei sedimenti del bacino di Rio di Pusteria di Maggio 2019 (Figura 6.73), dopodiché è stato eseguito un set di simulazioni di svaso a differente grado di interrimento iniziale del bacino: 25%, 50%, 75%, dove 100% corrisponde allo stato di interrimento del bacino a Maggio 2019, rispondente alla periodicità considerata di svaso (5 anni - 2014 e 2019). Il confronto tra gli scenari proposti ha lo scopo di identificare quale sia la configurazione di partenza che permette la gestione più efficace dei sedimenti dal punto di vista operativo, in termini di minimizzazione della mancata produttività dell'impianto idroelettrico.

Un secondo set di simulazioni ha riguardato degli scenari di venting in coordinazione con

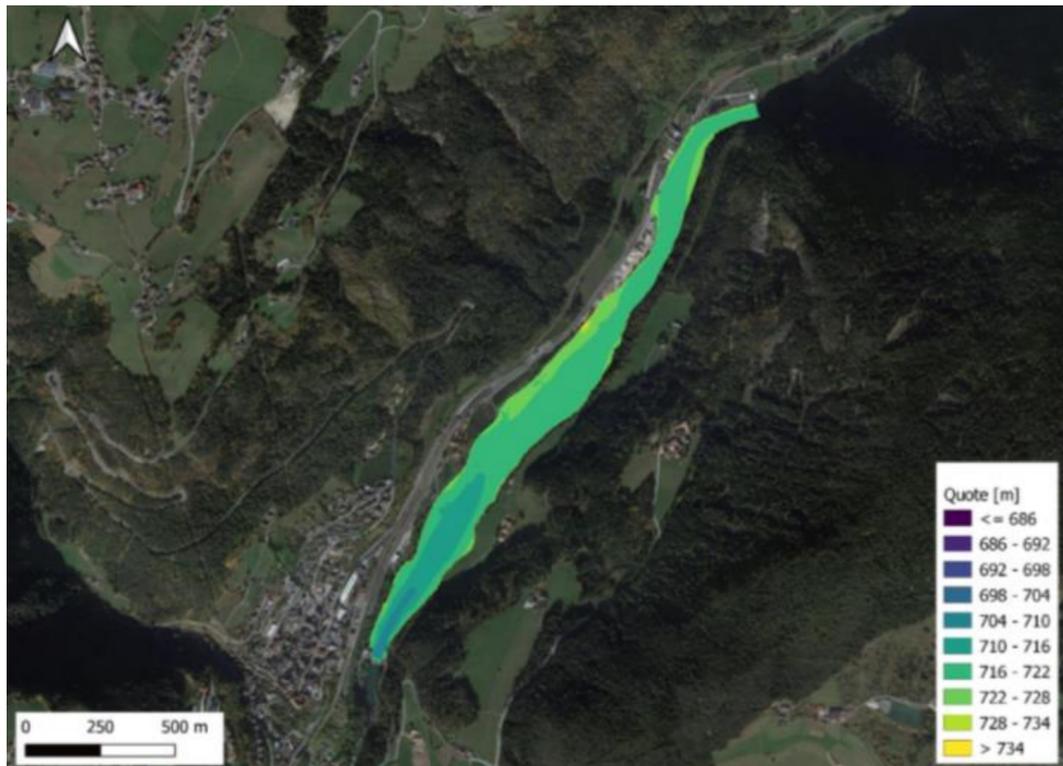


Figura 6.73: Vista dell'area di studio e DTM del bacino di Rio di Pusteria a Maggio 2019, pre-svaso

gli scenari di svaso del bacino di Kniepass presentati in 6.2.9: in questo caso si è simulata l'apertura degli scarichi in corrispondenza dell'arrivo dell'onda di concentrazione da monte.

6.3.7.3 Mesh

La mesh è stata realizzata a partire da un DTM ottenuto tramite rilievo topografico effettuato da Alperia nel mese di Maggio 2019 (precisione altimetrica 1cm) ed è composta di 17.116 triangoli di dimensione variabile, mentre il dominio in verticale è stato suddiviso in 30 layers (Figura 6.74).

6.3.7.4 Calibrazione del modello

I parametri del modello sono stati calibrati sull'evento di svaso del bacino di Rio di Pusteria nel mese di Maggio 2019. Come condizioni al contorno in ingresso e in uscita si sono imposti tirante (H) e portata (Q); le portate in ingresso sono quelle registrate dalla stazione idrometrica di Vandoies, mentre le portate in uscita sono quelle fornite dalla ditta Alperia (Figura 6.75). Oggetto di simulazione è stata la fase effettiva di rilascio dei sedimenti dal bacino, agente nei primi 10 giorni, a seguito della quale la concentrazione misurata agli scarichi era tornata a valori prossimi allo zero.

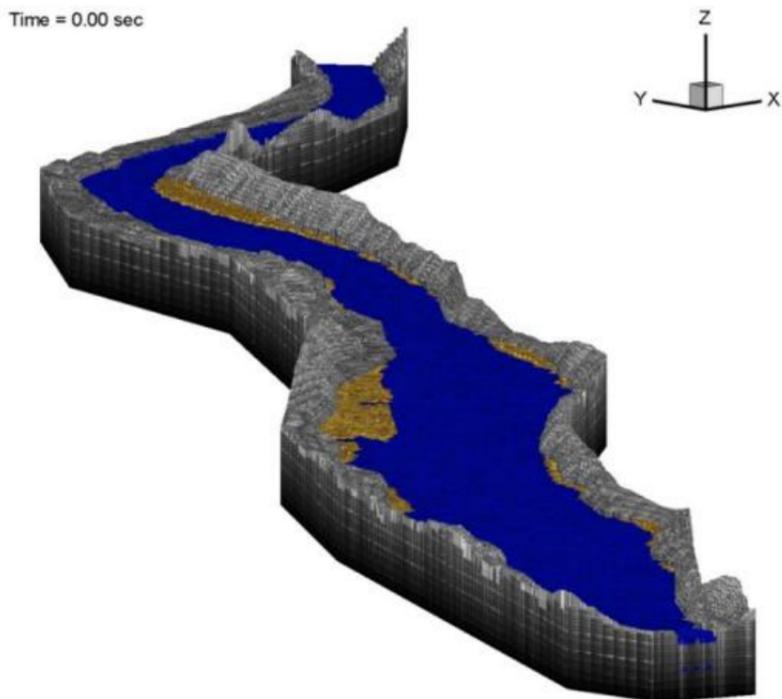


Figura 6.74: Vista della discretizzazione del bacino di Rio di Pusteria

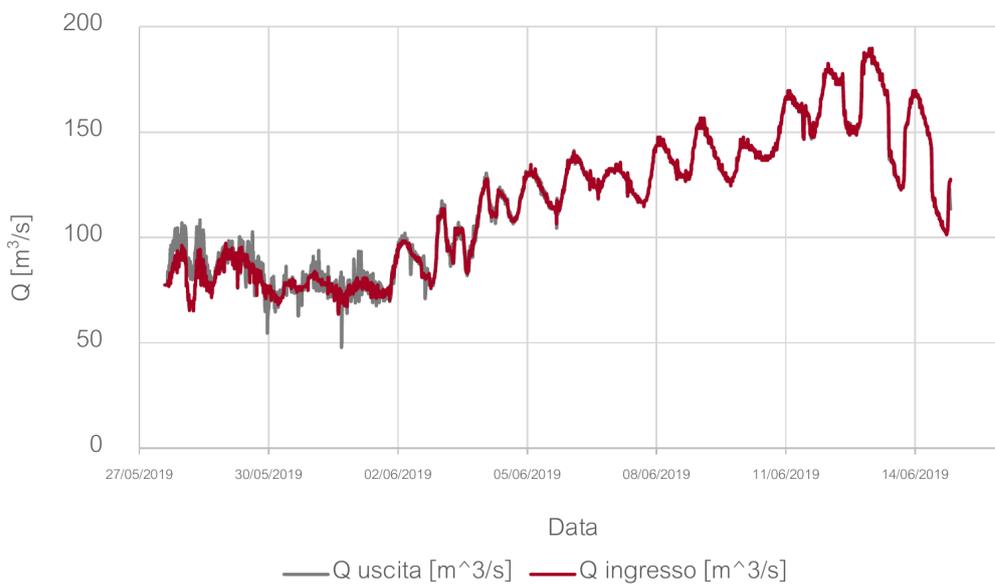


Figura 6.75: Portata in ingresso e in uscita dal bacino durante lo svasso

6.3.7.5 Incertezze nella procedura di calibrazione

La procedura di calibrazione è affetta da alcune incertezze presenti nei dati di origine, riguardanti la portata liquida in ingresso e la composizione granulometrica e la stratificazione del materiale presente nel bacino.

La portata liquida in ingresso a monte registrata dalla stazione idrometrica di Vandoies non ha potuto essere validata dall'Ufficio Idrografico della Provincia, ed è quindi foriera di potenziali incertezze.

Non essendo disponibili indagini granulometriche e stratigrafiche, le simulazioni sono state impostate ipotizzando una densità media del materiale solido pari a $\rho_s = 2.670 \text{ kg/m}^3$ e un diametro medio $d = 0,02 \text{ mm}$, in linea con il materiale campionato nel bacino di Kniepass (6.2.4).

L'incognita nell'evoluzione stratigrafica, che vedrebbe il materiale farsi via via più compatto e grossolano negli strati più profondi e nella zona a monte dell'invaso, è stata approssimata introducendo un fattore di rallentamento della velocità di erosione con la profondità.

6.3.7.6 Risultato della calibrazione

Il modello 3D è in grado di rappresentare il progressivo svuotamento del bacino e di ricreare le dinamiche di circolazione che portano alla creazione di un canale inciso generato dall'erosione laterale delle sponde e dall'erosione al fondo (Figura 6.76).

Lo svasso nel suo complesso risulta ben rappresentato, sia per quel che riguarda la diminuzione del volume d'acqua all'interno del bacino, sia per quel che riguarda il valore totale della massa dei sedimenti rilasciati a fine evento (Figura 6.77).

In riferimento al discostamento tra il volume d'acqua misurato e quello calcolato, la differenza è probabilmente da ascrivere al fatto che il volume misurato è in realtà un volume calcolato in funzione del livello dell'acqua nel bacino, e che non può tenere conto in tempo

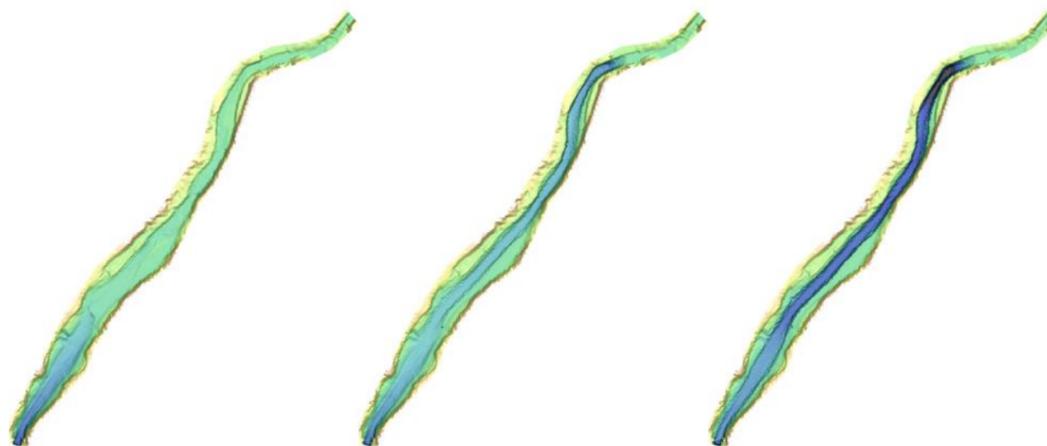


Figura 6.76: *Evoluzione del fondo del bacino nel tempo, a 0s, 400000s (4.6 giorni) e 800000s (9.3 giorni) per la simulazione dello svasso avvenuto a Maggio 2019*

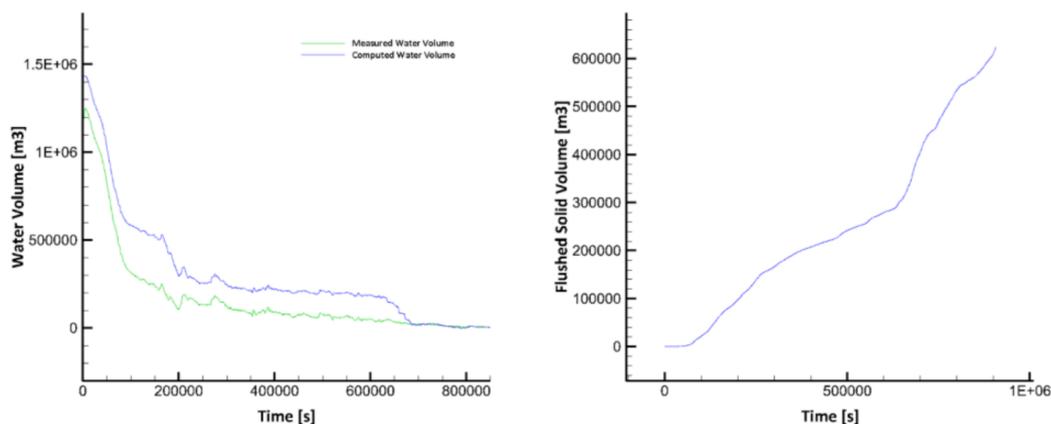


Figura 6.77: *Volume d'acqua nel bacino nel corso dell'evento (sinistra) e progressiva massa di sedimenti rilasciati (destra)*

reale della variazione della topografia causata dall'asportazione dei sedimenti. La massa totale di sedimenti rilasciati a fine evento risulta pari a 624.222 m^3 secondo la simulazione numerica, ragionevolmente vicino al valore misurato come differenza dei DTM rilevati pre- e post- svaso, a Maggio e Giugno 2019, pari a 580.542 m^3 . La differenza trova spiegazione nelle approssimazioni introdotte nella rappresentazione stratigrafica e granulometrica del materiale, poc'anzi descritte. Le stesse approssimazioni sulla caratterizzazione e stratigrafia del materiale solido si traducono in un'incertezza nell'evoluzione temporale del profilo simulato di concentrazione dei solidi sospesi alla sezione degli scarichi, che comunque rispecchia l'andamento medio dell'evento (Figura 6.78). In particolare, i picchi nella fase finale dell'evento sono da attribuirsi alla mancata informazione sulla composizione stratigrafica e di consolidamento del sedimento presente nel bacino, per la quale il processo erosivo tende naturalmente a 0 una volta raggiunto il fondo dell'invaso, comportamento che il modello non può riprodurre in assenza dall'informazione fisica reale. Si noti tuttavia che le approssimazioni adottate riguardo i materiali rimangono le stesse per tutti gli scenari rappresentati, pertanto non inibiscono il confronto proposto.

6.3.7.7 Flushing a grado di interrimento iniziale variabile: Risultati delle simulazioni

La simulazione di riferimento (stato di interrimento 100%, tempo di interrimento 5 anni) è stata confrontata con 3 scenari alternativi di svaso, caratterizzati da grado di interrimento del bacino variabile: 25%, 50%, 75%. Tali percentuali sono state calcolate a partire dal DoD (DTM of Difference): individuato come valore di riferimento del materiale accumulato la differenza tra il livello dei sedimenti a Maggio e Giugno 2019, i DTM di partenza per le simulazioni dei vari scenari sono stati creati aggiungendo al DTM rilevato a Giugno 2019 uno strato di sedimenti pari al 25%, 50% e 75% del DoD (Figura 6.79).

Per i 3 nuovi scenari, la condizione al contorno di monte è rimasta la stessa che per lo scenario base, mentre a valle la portata in uscita è stata modulata in modo tale da non

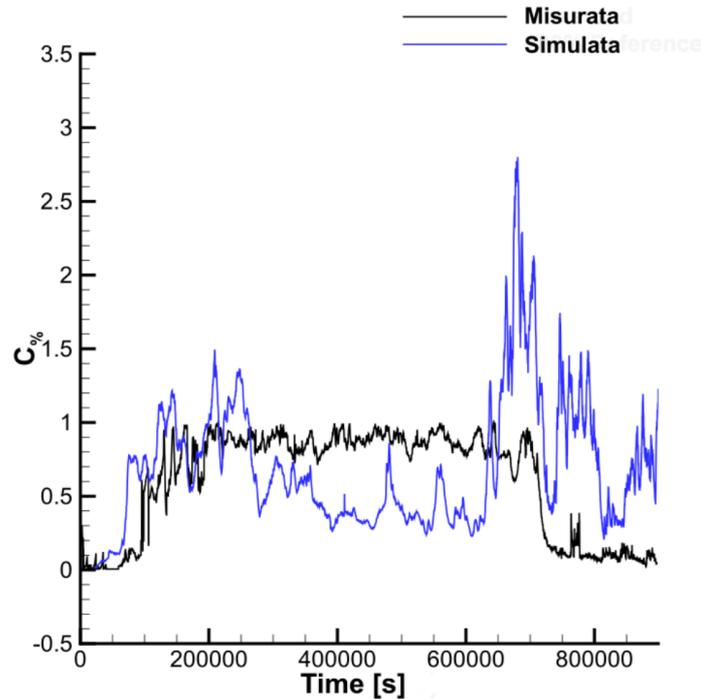


Figura 6.78: Evoluzione della concentrazione volumetrica agli scarichi come misurata da Alperia (nero) e come simulata (blu)

raggiungere valori di $C\%$ all'uscita troppo alti. A tal scopo, per ogni tempo t^* della simulazione è stata calcolata la massa di sedimenti in uscita dagli scarichi; il gradiente della massa nei 30 minuti precedenti t^* è stato utilizzato per calcolare la previsione della $C\%$ in uscita dagli scarichi 30 minuti dopo il tempo t^* . Se il valore di $C\%$ così calcolato al tempo $t = t^* + 30 \text{ min}$ superava la soglia dell'1%, la portata al tempo t^* veniva abbassata del 15% rispetto a quella in ingresso, in caso contrario veniva alzata del 15%. In Figura 6.80 sono riportati i profili di Q in uscita nei diversi scenari, confrontati con il valore di Q per lo scenario base.

Il controllo sugli scarichi così modellato ha permesso di mantenere i valori di picco delle concentrazioni attorno all'1,5%. Non impostare nessun controllo numerico sulle portate in uscita avrebbe potuto portare a valori di picco della $C\%$ molto più alti, il che avrebbe accelerato il processo di svasso dei sedimenti e avrebbe falsato il confronto con lo scenario di riferimento, in cui il controllo è implicitamente fornito dall'aver adottato come condizione al contorno di valle le portate reali dell'evento, fornite da Alperia. In Figura 6.81 è riportato l'andamento della $C\%$ agli scarichi nel tempo, nei 4 casi.

La diversa configurazione iniziale tra lo scenario di riferimento e gli scenari a vari gradi di riempimento provoca delle differenze nell'evoluzione dello svasso. Il volume d'acqua contenuto all'interno del bacino varia nei 4 casi sia per quel che riguarda il contenuto iniziale d'acqua (meno sedimenti nel bacino corrispondono ad un maggiore volume d'invaso), sia per quel che riguarda il volume d'acqua contenuto nel bacino a fine svasso (Figura 6.82).

Il differente livello dell'acqua all'interno del bacino nei vari scenari dà origine a differenti

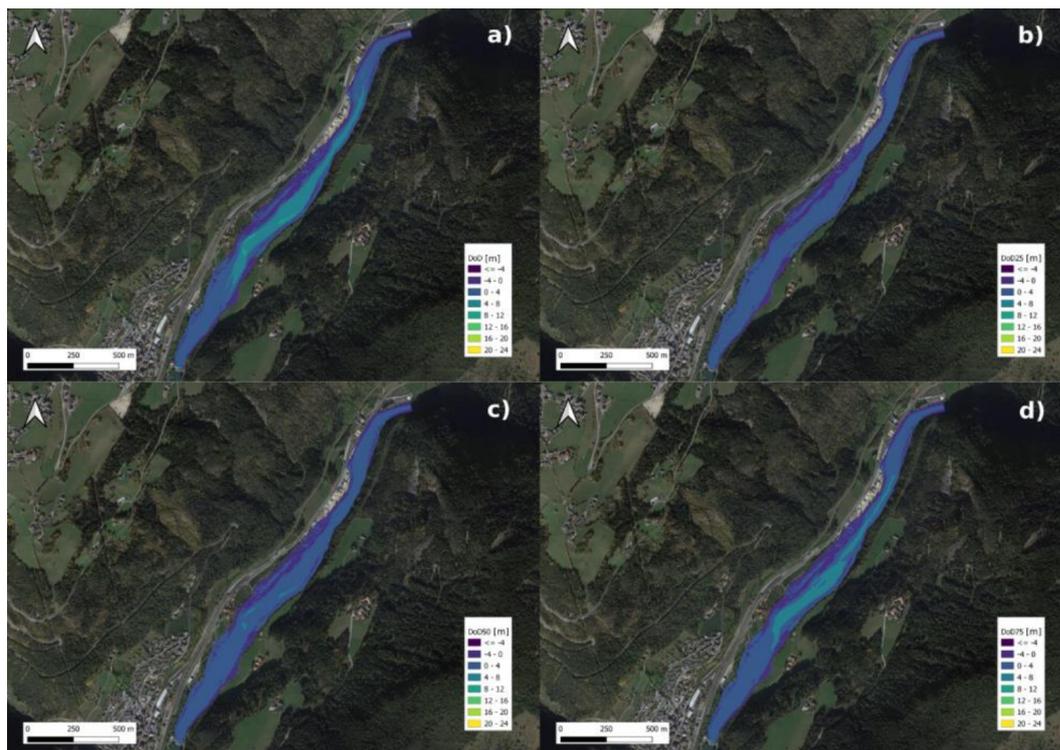


Figura 6.79: *Strato di sedimento presente nel bacino prima dello svaso (d'ora in poi strato di riferimento), b) strato di sedimento calcolato come 25% dello strato di riferimento, c) strato di sedimento calcolato come 50% dello strato di riferimento, d) strato di sedimento calcolato come 75% dello strato di riferimento*

dinamiche di scavo del materiale. In Figura 6.84 si riporta un dettaglio dell'evoluzione del fondo nei diversi scenari in 3 sezioni trasversali del bacino (Figura 6.83).

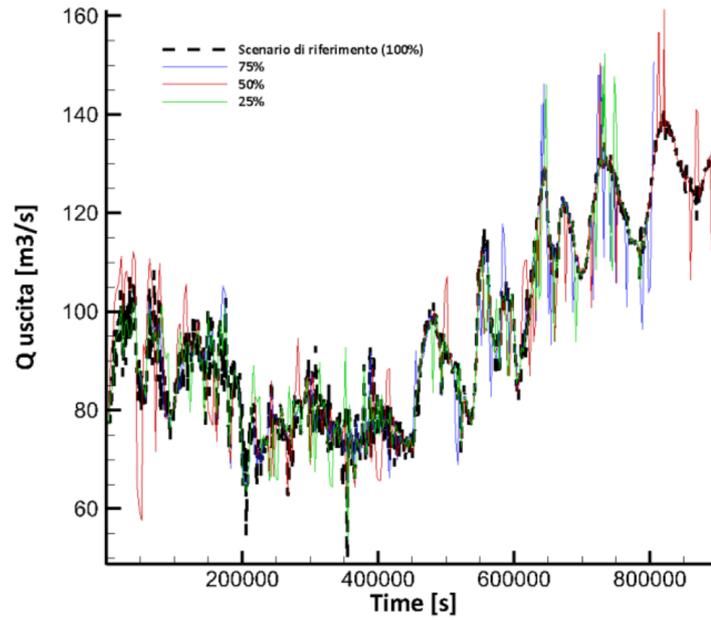


Figura 6.80: Evoluzione delle portate in uscita sottoposte a controllo per limitare la C% in uscita, confrontate con la portata in uscita nello scenario di riferimento (linea tratteggiata)

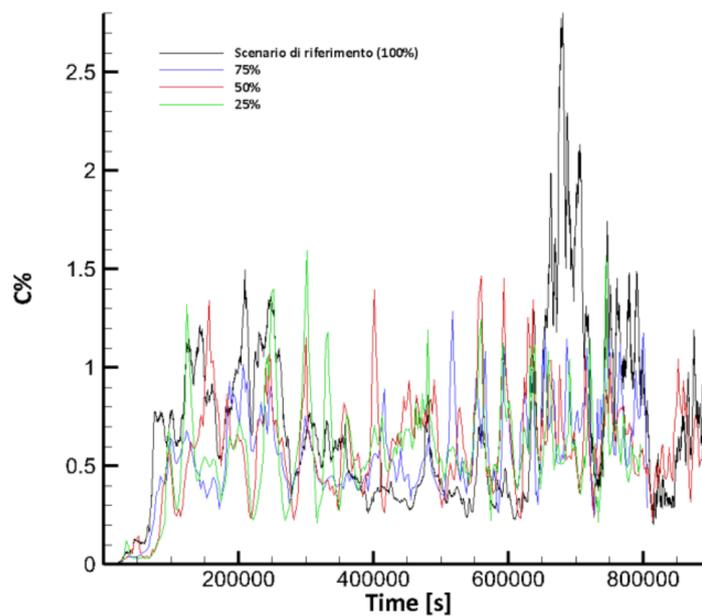


Figura 6.81: Evoluzione della concentrazione nel tempo per i 4 casi in uscita dagli scarichi di fondo

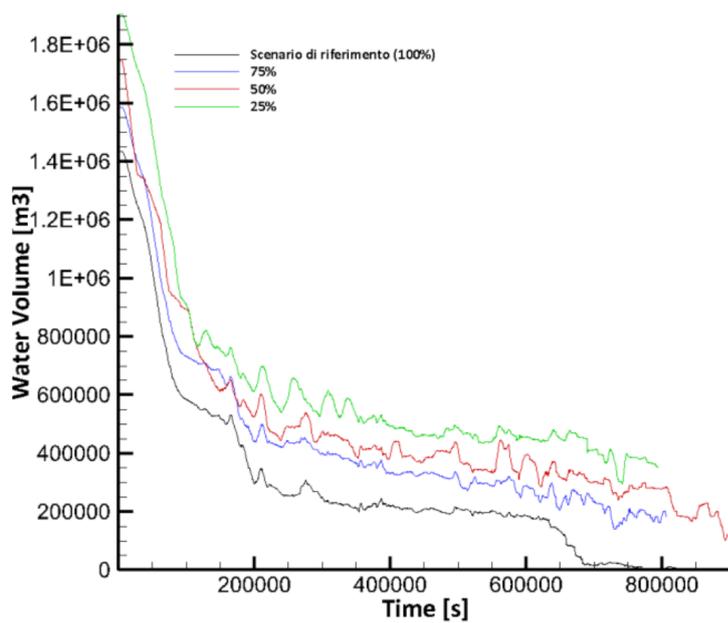


Figura 6.82: Evoluzione del contenuto d'acqua nel bacino nei diversi scenari

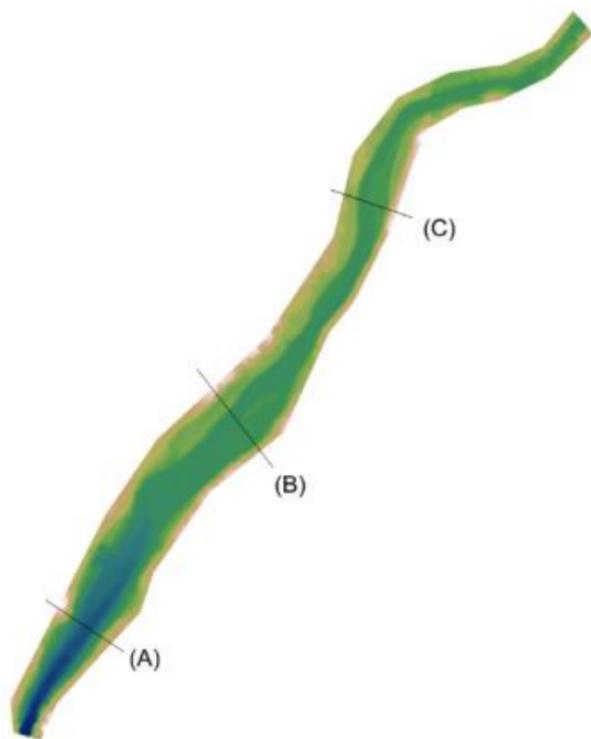


Figura 6.83: Vista delle sezioni trasversali del bacino scelte per l'analisi

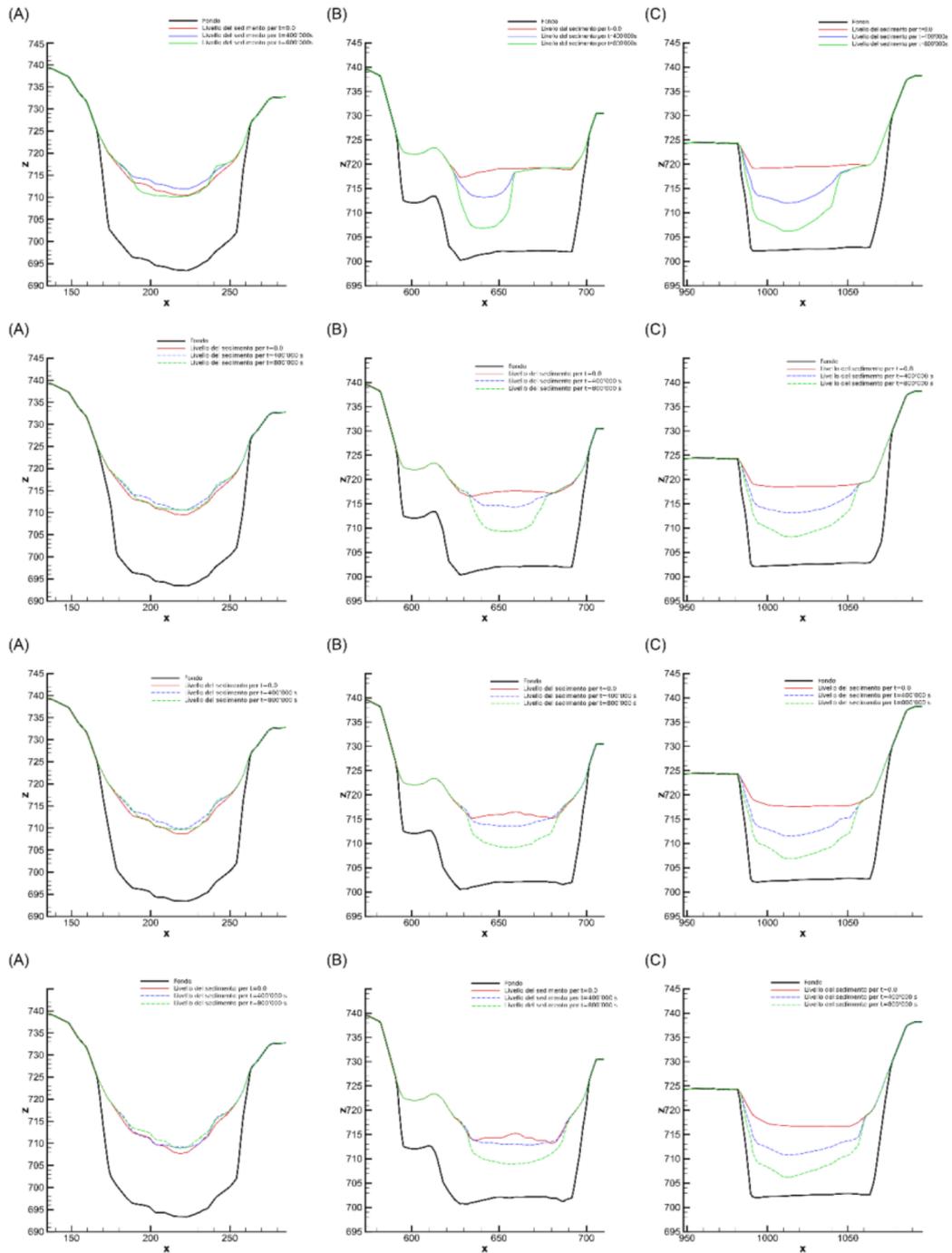


Figura 6.84: Evoluzione del fondo nelle tre sezioni riportate in Figura 6.83, per lo scenario di riferimento e i 3 scenari alternativi, 75%, 50%, 25%, dall'alto verso il basso. In tutte le figure, in nero si ha il livello del fondo inerodibile, in rosso il livello del fondo al tempo $t=0$ s, in blu a $t=400'000$ s, in verde a $t=800'000$ s

Dal momento che per gli scenari a interrimento parziale il volume iniziale di sedimenti presenti nel bacino è rispettivamente il 25%, 50% e 75% rispetto al volume nello scenario di riferimento, la fine dello svaso nelle simulazioni è stata identificata con il momento in cui era stato svuotato rispettivamente il 25%, il 50% e il 75% del volume di sedimenti eroso nello scenario di riferimento (Figura 6.85), calcolato a partire dal DoD. Se per la simulazione relativa all'evento di Maggio 2019 lo svaso dei sedimenti è completato in circa 10 giorni, per gli scenari di riempimento parziale il fenomeno si esaurisce in circa 9,5 giorni (75%), circa 7 giorni (50%) e circa 4,5 giorni (25%).

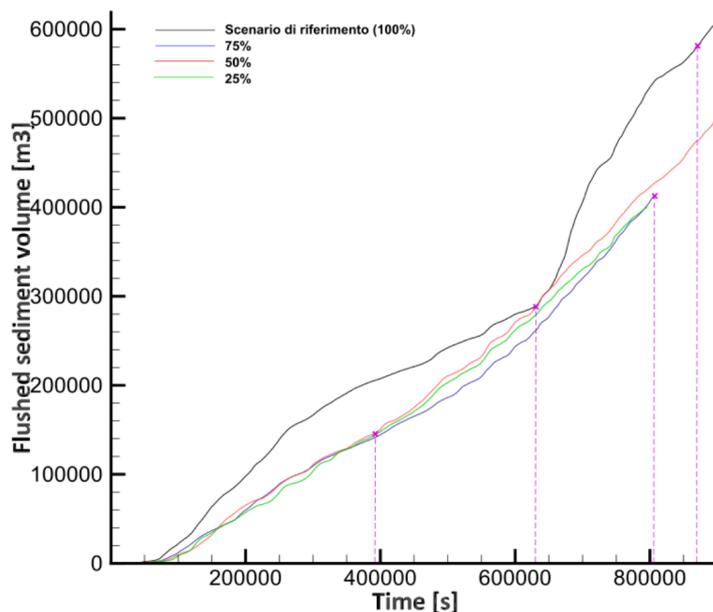


Figura 6.85: *Progressivo volume di sedimenti rilasciata per i diversi scenari. Gli indicatori viola segnano il punto di fine svaso*

6.3.7.8 Considerazioni finali per le manovre di flushing

A partire dal tasso di interrimento attuale ($107.799 \text{ m}^3/\text{anno}$) è possibile valutare quale sia la configurazione che permette uno svaso più efficiente in termini di interruzione della produzione idroelettrica. I risultati sono illustrati in Tabella 6.13. Sebbene lo scenario di riferimento richieda il minor numero di giorni per l'asportazione del materiale solido per decennio, gli scenari a riempimento parziale presentano il vantaggio di non richiedere lo svuotamento totale del bacino d'invaso. A questa considerazione va aggiunto il fatto che uno svaso più breve potrebbe provocare uno stress inferiore sull'ecosistema di valle (paragrafo 6.3.8). Alla luce di tutte queste considerazioni, lo scenario di svaso con interrimento iniziale al 50% è quello che fornisce i risultati migliori. Naturalmente una maggiore precisione rispetto alle conclusioni proposte richiede il superamento delle incertezze descritte al paragrafo 6.3.7.7.

	Frequenza svaso	Durata svaso	Giorni necessari (in 10 anni) per asportare il sedimento	Volume d'acqua a fine processo
Riferimento	5 anni	10 gg	20 gg	0
75%	4 anni	9,5 gg	24 gg	200.000 m ³
50%	3 anni	7 gg	23 gg	400.000 m ³
25%	1 anno 2 anni alternati	4,5gg	31,5 gg	500.000 m ³

Tabella 6.13: *Confronto tra gli scenari di svaso*

6.3.7.9 Venting

A fianco delle simulazioni degli scenari di flushing appena presentate, si sono simulate anche delle operazioni di venting in corrispondenza con gli scenari di svaso del Kniepass proposti nel paragrafo 6.2.9, per le quali si prevede l'apertura degli scarichi al fondo in corrispondenza del passaggio di un'onda di piena solida mantenendo il livello dell'invaso a quota costante durante l'evento e quindi regolando opportunamente gli scarichi stessi. In particolare, sono stati analizzati gli scenari HQ5 con un abbassamento della quota di invaso del bacino Kniepass di -3 m (da ora in poi semplificato scenario S2) e lo scenario HQ1 con abbassamento quota bacino di -2,25 m (scenario S4). Affinché il venting sia efficace è necessario che il livello idrico nel serbatoio sia abbastanza elevato, e ciò comporta un minore spreco della risorsa. Questo rende tale procedura applicabile anche ai grandi invasi, però, non è detto che la corrente di densità si formi e che abbia l'energia per giungere fino allo scarico di fondo. Le caratteristiche degli scenari S2 e S4 sono riportate in Figura 6.86 e Figura 6.87. Le operazioni di venting sono state simulate a due differenti condizioni iniziali nel bacino: invaso pieno (100%), e livello d'acqua nel bacino = 718 m s.l.m.m., corrispondente a circa il 20% della capacità d'invaso. Anche nel secondo caso con quota del bacino a 718 m s.l.m.m., la derivazione d'acqua potrebbe essere garantita in quanto la quota della galleria di derivazione è posta a 708 m.

6.3.7.10 Risultati per lo scenario S2

Il confronto tra i risultati a volume d'invaso completo (100%) e parziale (20%) mostra come in generale il materiale solido proveniente da monte che rimane "bloccato" nel bacino a fine simulazione sia minore nel secondo caso (Figura 6.88).

I grafici in Figura 6.89 mostrano la concentrazione volumetrica dei solidi sospesi e la massa netta in uscita dalla diga: valori positivi significano un incremento netto della concentrazione o della massa presente nel bacino, mentre valori negativi corrispondono ad una fuoriuscita netta di materiale maggiore rispetto alla quantità in ingresso. Il grafico in Figura 6.90 mostra come la quantità residua di materiale solido rimasta nel lago sia maggiore in caso di invaso inizialmente pieno (100%) rispetto al caso di invaso inizialmente al 20%.

Le stesse considerazioni possono essere avanzate osservando il grafico in Figura 6.91: mentre nelle fasi iniziali i due processi a invaso iniziale 100% e 20% procedono allo stesso

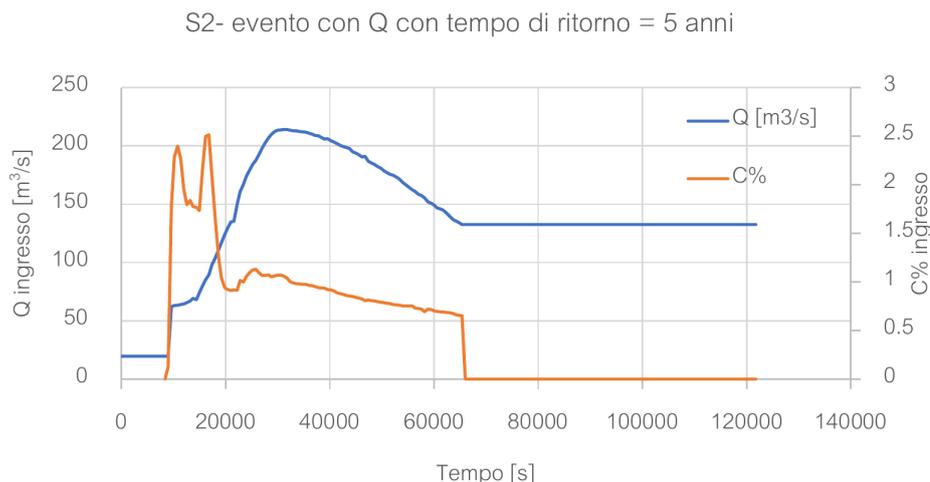


Figura 6.86: Portata (Q) e concentrazione (c%) in ingresso per lo scenario S2

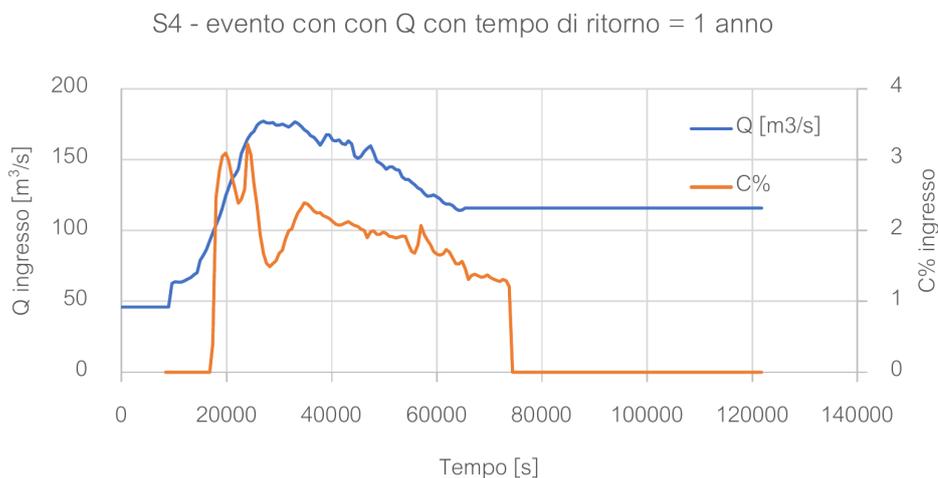


Figura 6.87: Portata (Q) e concentrazione (c%) in ingresso per lo scenario S4

modo, poichè l'onda di concentrazione in ingresso nel bacino è la stessa, nel tempo tendono a discostarsi. Nel caso di invaso inizialmente al 100% la massa di materiale in sospensione tende a 0 in circa 44 ore (Figura 6.91, linea nera continua), il che può essere letto come l'esaurimento della capacità erosiva e di trasporto, che si traduce infatti in una grossa quantità di materiale depositato (Figura 6.91, linea blu continua). Al contrario, nel caso di invaso inizialmente al 20%, a fine simulazione la capacità di trasporto non è stata esaurita (la massa solida in sospensione è non nulla) (Figura 6.91, linea nera tratteggiata), e la quantità di materiale depositato è di molto minore (Figura 6.91, linea blu tratteggiata).

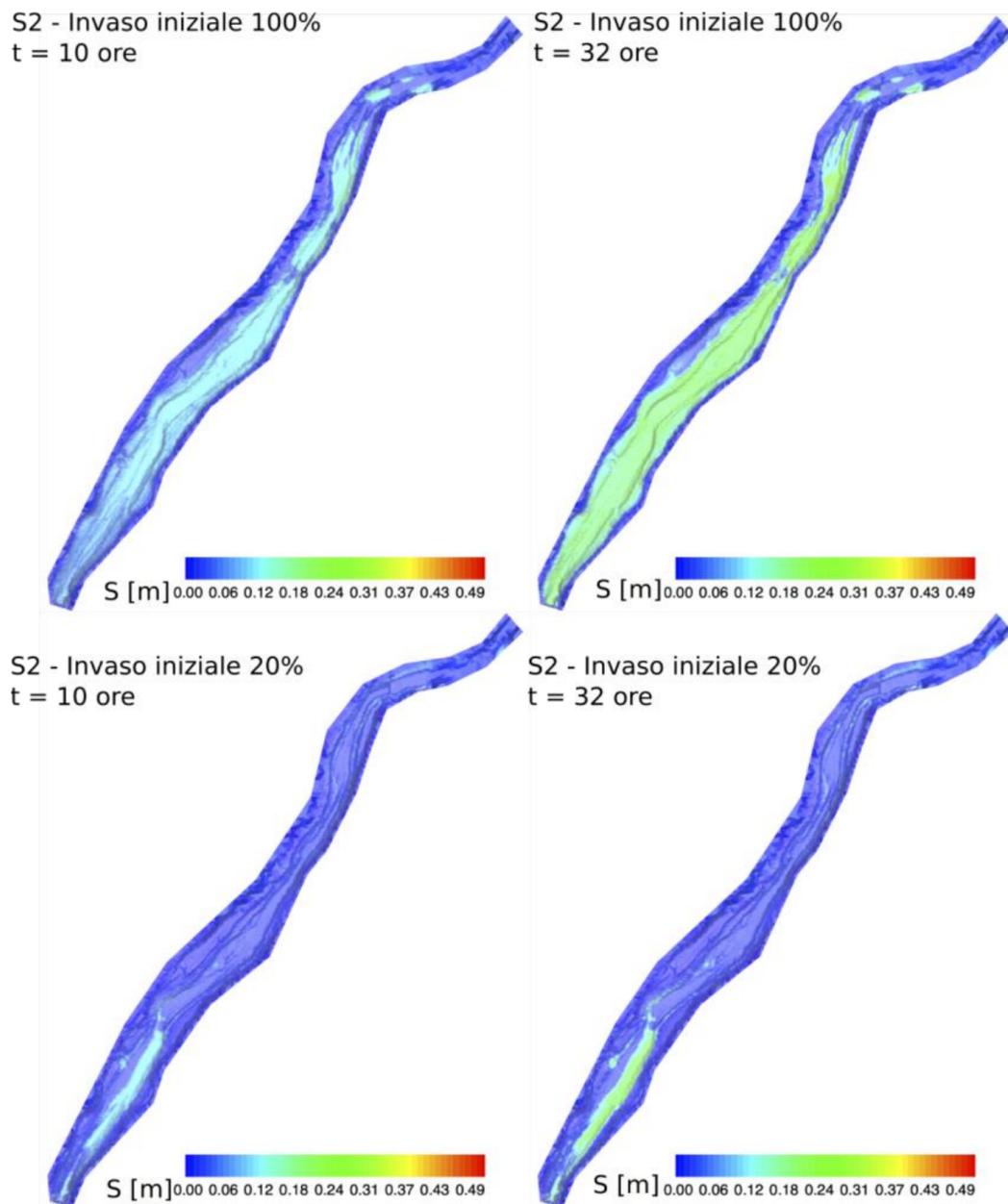


Figura 6.88: Distribuzione del deposito di materiale solido (S) nel bacino dopo 10 ore e 32 ore nei due casi per lo scenario S2: invaso iniziale 100% (sopra) e invaso iniziale 20% (sotto)

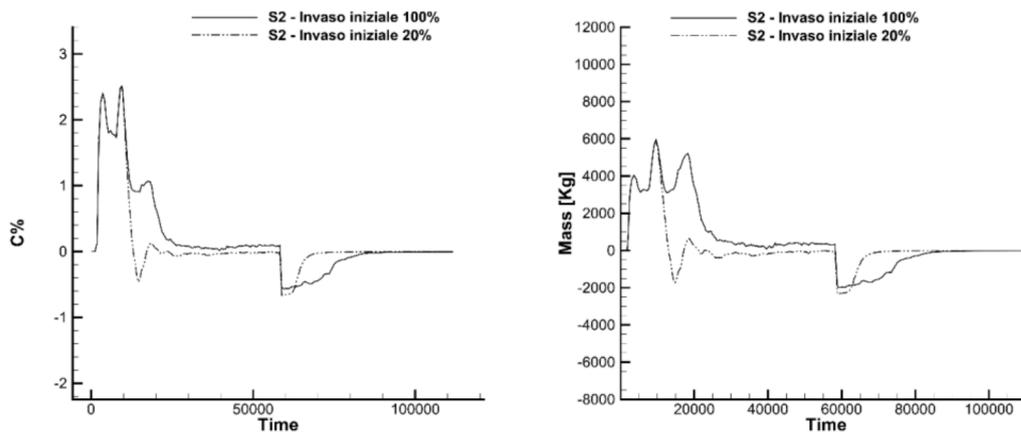


Figura 6.89: Bilancio netto di concentrazione di solidi sospesi e massa in uscita dal bacino per lo scenario S2

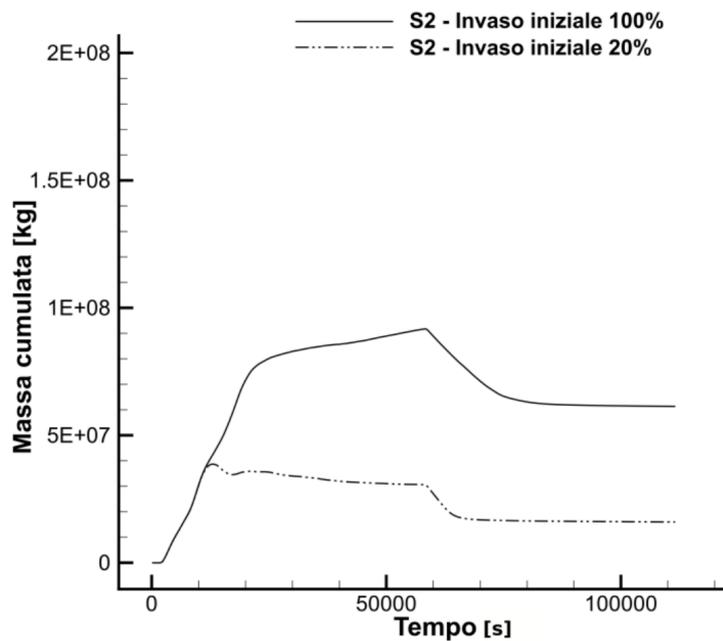


Figura 6.90: Massa cumulata netta di sedimenti transitati nel bacino per lo scenario S2. La quantità residua identifica la quantità entrata e non uscita

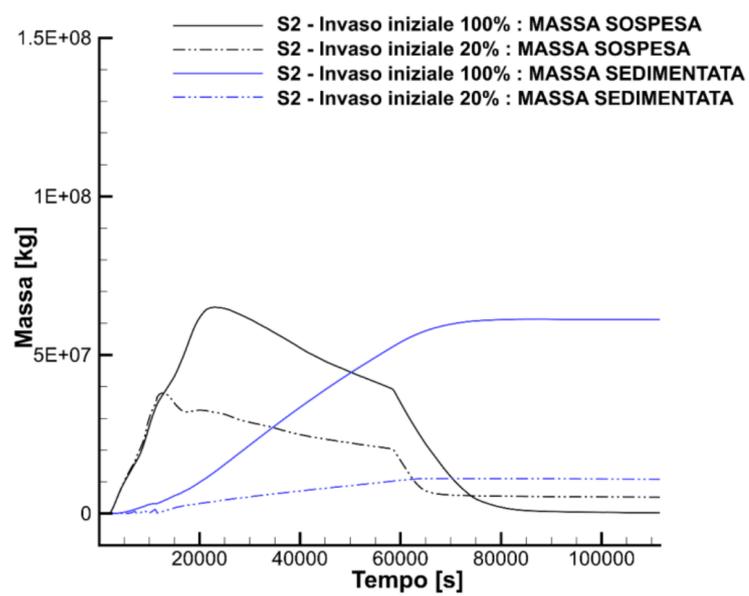


Figura 6.91: Confronto tra massa depositata e sospesa per le due configurazioni per lo scenario S2

6.3.7.11 Risultati per lo scenario S4

Lo scenario S4 porta a risultati del tutto analoghi allo scenario S2 per quel che riguarda il confronto tra i due diversi gradi iniziali di invaso. Le conclusioni tratte pertanto sono le stesse che per lo scenario S2.

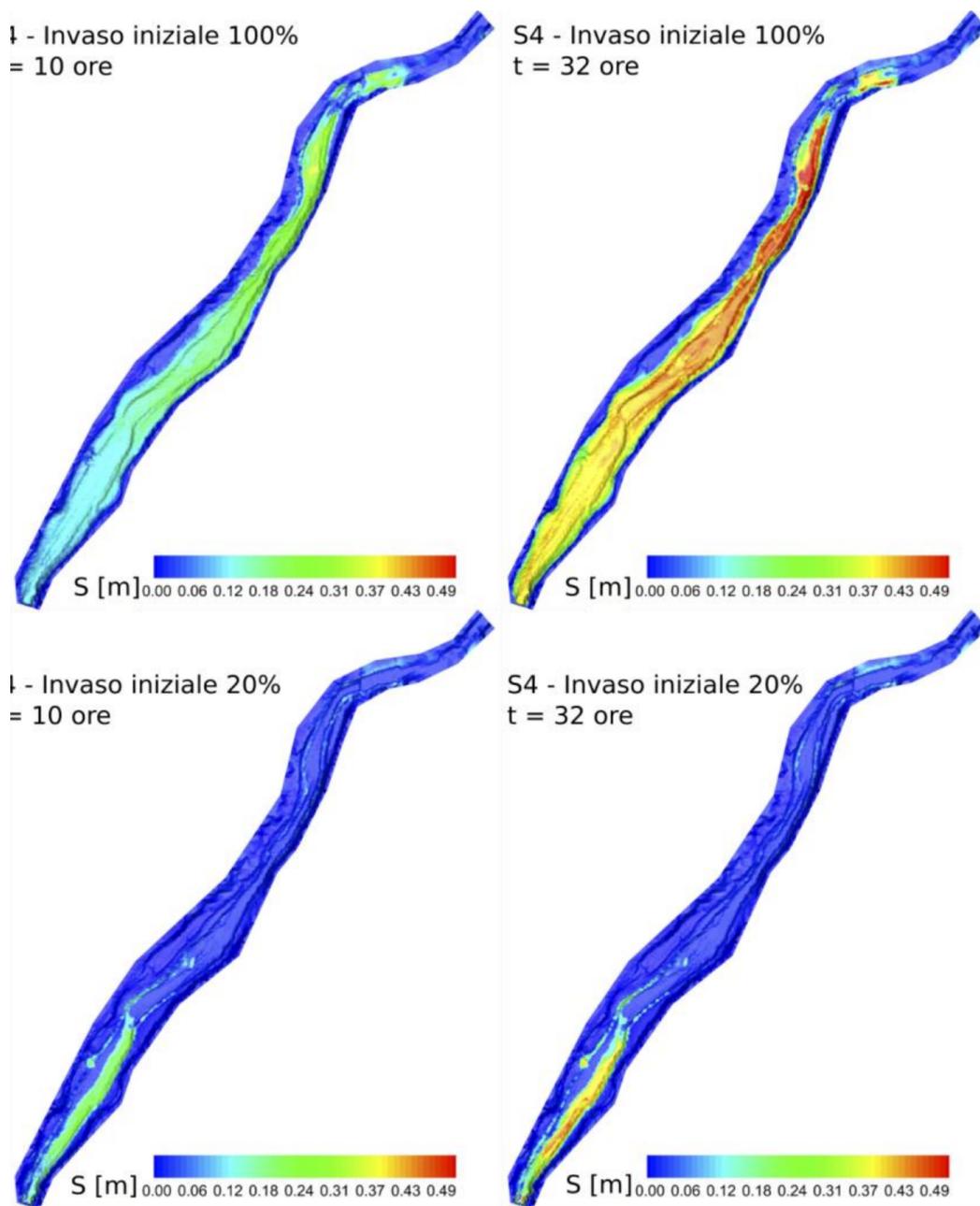


Figura 6.92: *Distribuzione del deposito di materiale solido (S) nel bacino dopo 10 ore e 32 ore nei due casi per lo scenario S4: invaso iniziale 100% (sopra) e invaso iniziale 20% (sotto)*

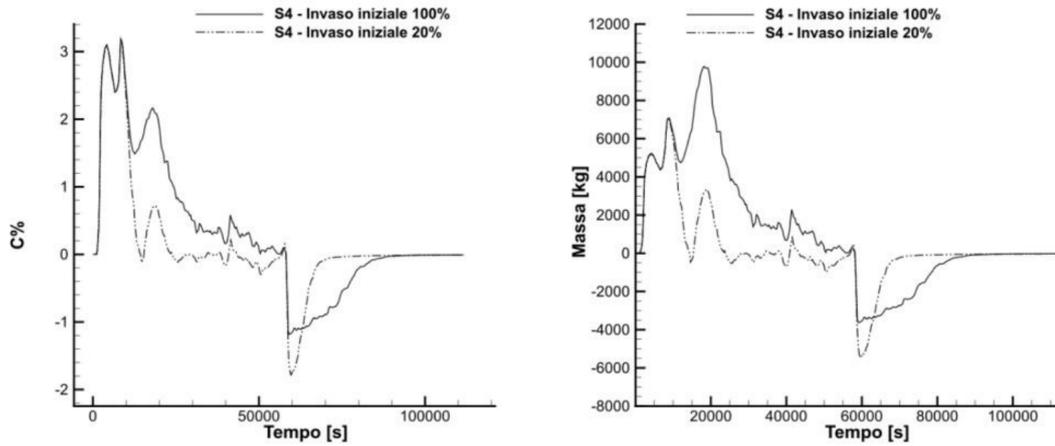


Figura 6.93: *Bilancio netto di concentrazione di solidi sospesi e massa in uscita dal bacino per lo scenario S4*

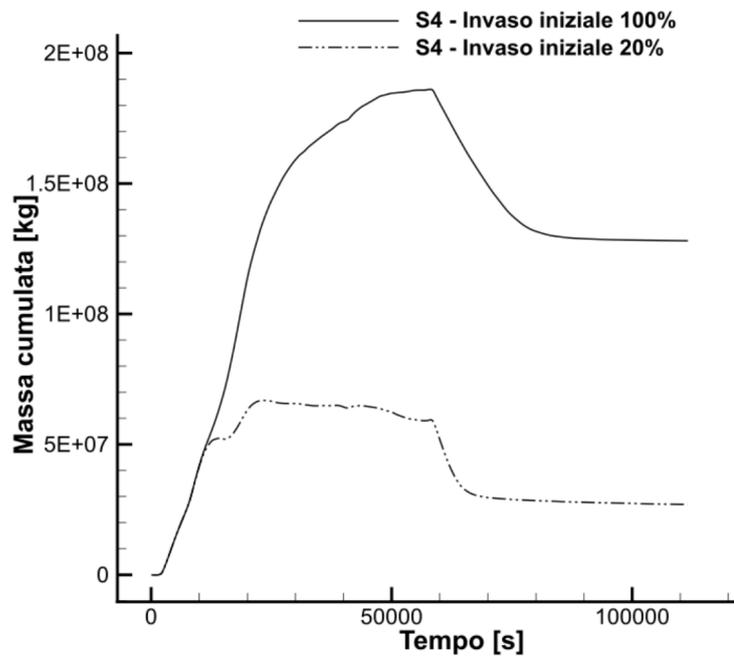


Figura 6.94: *Massa cumulata netta di sedimenti transitati nel bacino per lo scenario S4. La quantità residua identifica la quantità entrata e non uscita*

6.3.7.12 Considerazioni finali per le manovre di venting

Le simulazioni proposte suggeriscono che un'eventuale operazione di venting coordinata allo svaso del bacino di Kniepass a monte di Rio di Pusteria possa essere resa più efficiente se preceduta da un parziale svuotamento del volume di invaso, che metta in moto l'acqua nel bacino e contribuisca alla formazione di un canale di scorrimento privilegiato, evitando

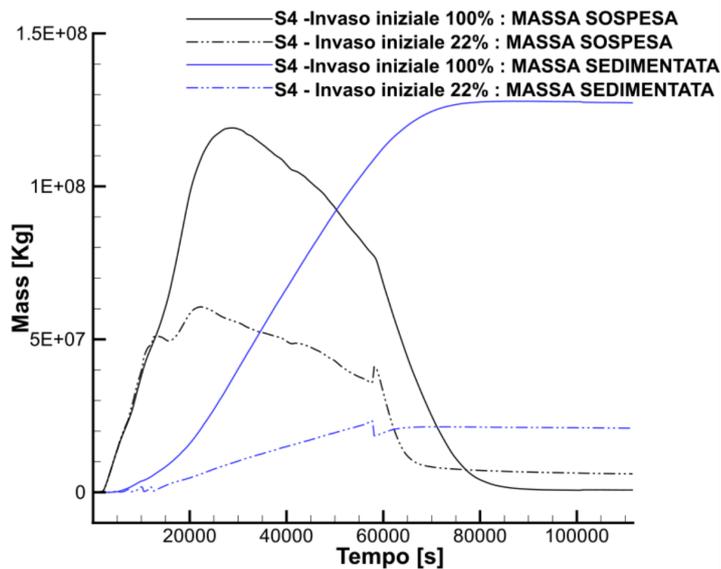


Figura 6.95: Confronto tra massa depositata e sospesa per le due configurazioni per lo scenario S4

l'accumulo di materiale davanti agli scarichi (Figura 6.96).

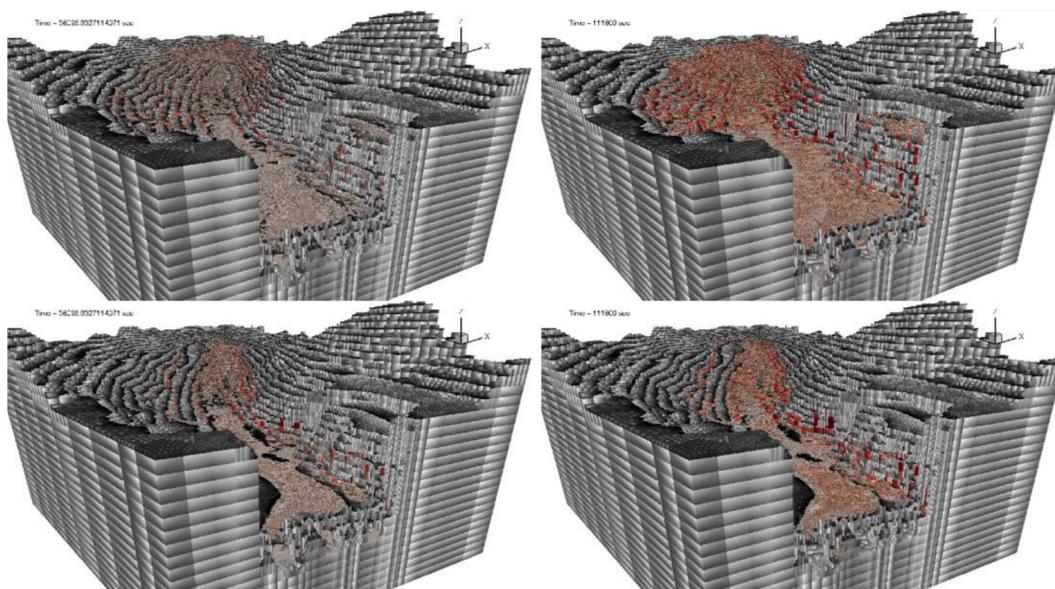


Figura 6.96: Vista dell'accumulo di materiale agli scarichi dopo 10 ore (sinistra) e 32 ore (destra), per lo scenario S4. Nella riga sopra l'invaso iniziale è al 100%, nella riga sotto al 20%

6.3.8 Effetti ecologici delle operazioni di flushing a valle del bacino di Rio di Pusteria (gola del Rienza)

La discussione in seguito riportata è tratta dall'articolo scientifico presentato su rivista scientifica ed in fase di revisione di Folegot et al. 2020, "The effects of a sediment flushing on Alpine macroinvertebrate communities", *Hydrobiologia*.

Per monitorare i possibili effetti a breve e medio termine delle operazioni di flushing, avvenute fra il 27 Maggio ed il 14 Giugno 2019, si è deciso di effettuare un monitoraggio biologico con campionamenti ed analisi della comunità macrobentonica - utilizzando un campionatore Surber (0,23 m x 0,22 m, con maglie di 100- μ m) - in quattro punti a valle dello sbarramento di Rio di Pusteria. Di questi, tre punti sono situati all'interno della gola della Rienza, un punto si trova a valle della confluenza della Rienza con il Fiume Isarco (Figura 6.97).

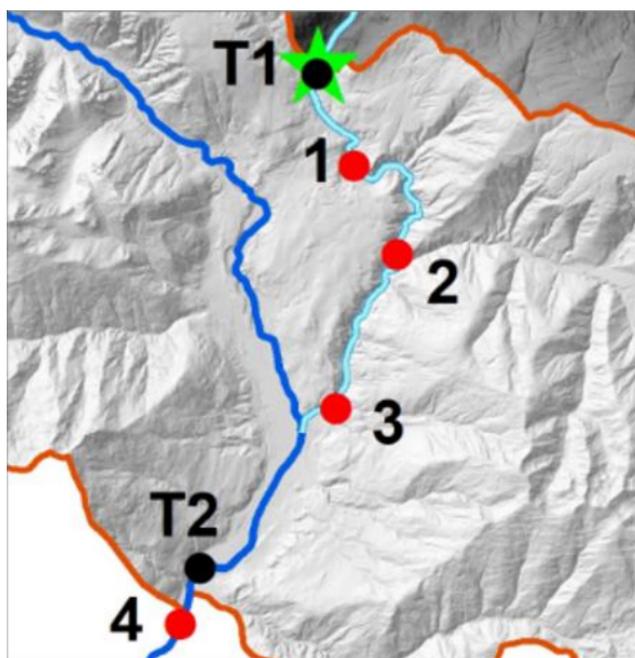


Figura 6.97: Indicazione dei punti di campionamento del macrobenthos a valle della diga di Rio di Pusteria (1,2 e 3) e della confluenza del Rienza con il Fiume Isarco (4). T1 e T2 indicano la posizione dei torbidimetri installati. Immagine tratta dall'articolo presentato a rivista ed in fase di revisione di Folegot et al. 2020. "The effects of a sediment flushing on Alpine macroinvertebrate communities", *Hydrobiologia*

La distanza fra il primo sito di campionamento e l'ultimo è di circa 15 km. I campionamenti sono stati effettuati in tre diverse occasioni: 'pre' flushing (16-17 Maggio 2019) per rilevare la composizione della comunità pre-disturbo, 'post 1' (24 Luglio 2019) e 'post 2' (27 Agosto 2019) per monitorare invece nel tempo l'evoluzione della comunità in seguito al flushing. I campionamenti post flushing sono avvenuti rispettivamente 40 giorni e 74 giorni dalla fine delle operazioni di pulizia del bacino di Rio di Pusteria.

Il metodo di raccolta degli organismi macrobentonici è di tipo multihabitat proporzionale, ovvero prevede una raccolta quantitativa di organismi proporzionalmente alla presenza dei vari habitat nel corso d'acqua indagato. In ogni sito sono stati effettuati 10 sub campionamenti, successivamente raggruppati a formare un unico campione rappresentativo di ogni sito di monitoraggio.

Per ogni sito e momento di campionamento sono state calcolate le seguenti metriche di comunità: densità ($N. \text{ ind. m}^{-2}$), ricchezza tassonomica (numero di taxa), diversità di Shannon, e la "functional dispersion" (FDis) come misura di diversità funzionale matematicamente indipendente dalla ricchezza di taxa. Per valutare e meglio visualizzare le variazioni nella composizione funzionale delle comunità è stata utilizzata la Fuzzy Correspondence Analysis (FCA). L'effetto del flushing sulla composizione tassonomica è stato invece valutato con il metodo nMDS (non-metric MultiDimensional Scaling).

In totale sono stati raccolti 40.266 organismi che rappresentano 58 taxa complessivamente. La densità media è di $6.842 \pm 5.957 \text{ ind m}^{-2}$. La fase 'pre' presenta la più bassa densità ($2.940 \pm 2.854 \text{ ind m}^{-2}$), mentre la densità maggiore è da attribuire ai campioni 'post 2' ($12.033 \pm 7.003 \text{ ind m}^{-2}$). Per quanto riguarda il numero di taxa, questo varia fra 16 (sito 2) e 25 (sito 3 e 4) per i campioni 'pre', fra 20 (sito 3) e 24 (sito 1 e 4) per i campioni 'post 1' ed infine, fra 22 (sito 2 e 3) e 33 (sito 4) per i campioni 'post 2'.

Baetis (Ephemeroptera) e la famiglia dei Chironomidae (Diptera) sono i taxa più comuni durante i tre periodi di monitoraggio. Altri taxa come per esempio Nemoura e Protonemoura (Plecoptera, organismi trituratori) sono presenti principalmente nei campioni 'pre', mentre altri come i Simuliinae (Diptera) aumentano in densità dalla fase 'post 1' in poi. Heptageniidae (Ephemeroptera), anche se non abbondanti prima del flushing, scompaiono praticamente nella fase 'post 1', per poi ritornare a valori pre-disturbo nel 'post 2' (Figura 6.98).

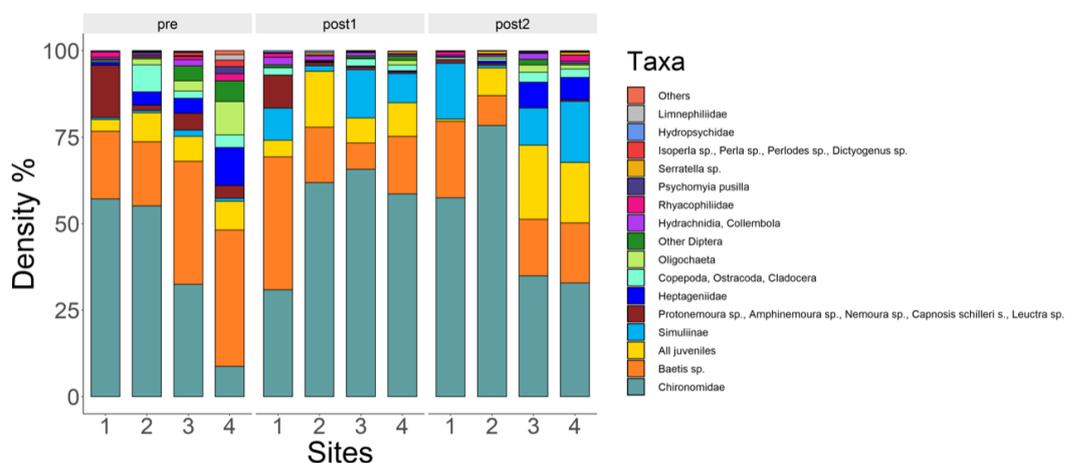


Figura 6.98: *Densità relativa per ogni taxon e per ogni fase del campionamento ('pre', 'post1' e 'post2')* (Folegot e altri, 2020)

Per quanto riguarda i cambiamenti delle metriche di comunità prima e dopo il flushing, si nota che in generale la ricchezza in taxa e l'indice di diversità di Shannon decrescono subito

dopo il flushing, per poi recuperare nel lungo periodo ('post 2'), circa 11 settimane dopo la fine delle operazioni (Figura 6.99). Diversamente, la densità e FDis tendono a crescere nel tempo. In particolare, il sito 1, il più vicino al serbatoio, mostra un incremento della densità nel 'post 2' particolarmente forte, attribuibile principalmente a Chironomidae, che probabilmente causa una riduzione della diversità di Shannon.

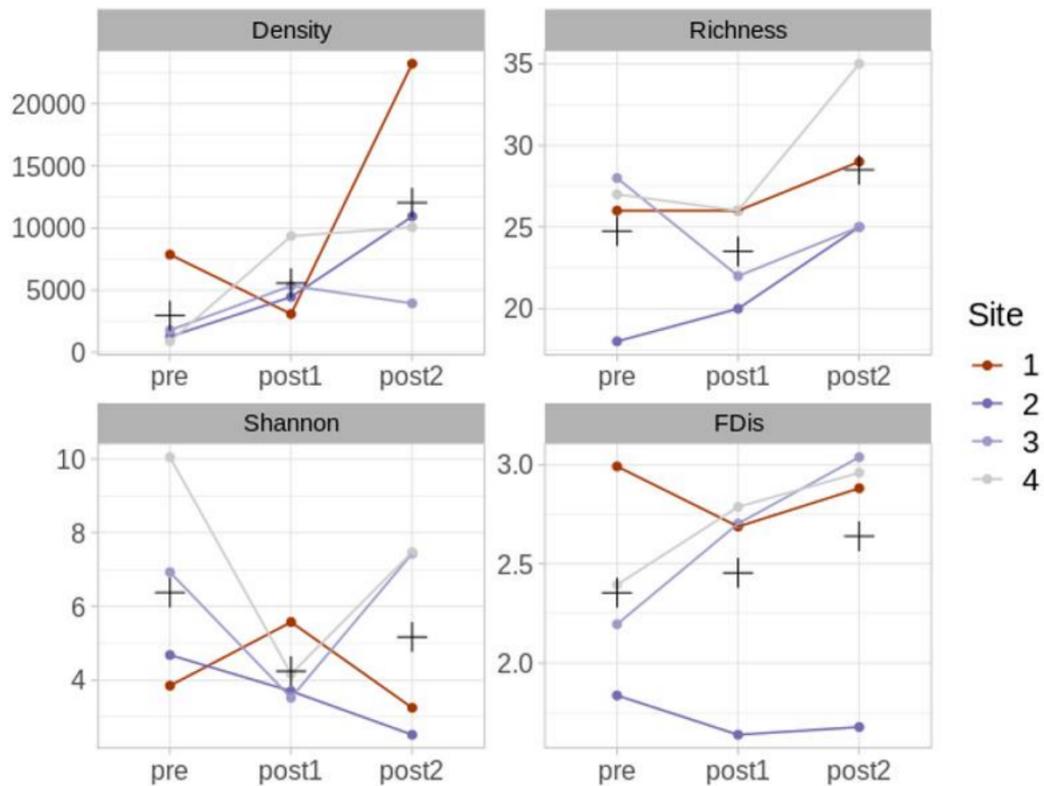


Figura 6.99: *Variazione delle metriche di comunità nei vari siti prima e dopo il flushing (Folegot e altri, 2020)*

Gli effetti delle operazioni di flushing comportano dei cambiamenti nella composizione tassonomica dei siti indagati. Subito dopo il flushing, 'post 1', le comunità tendono a muoversi lungo il primo asse MDS (Figura 6.100a), ma poi mostrano un parziale recupero durante la fase 'post 2', con risposte che variano per sito. Per esempio, la composizione tassonomica al sito 1 varia meno rispetto agli altri siti, ma, esaminando la composizione funzionale (FCA, Figura 6.100b), si scopre che i cambiamenti per questo sito sono sostanziali, con traiettorie che si muovono sia lungo il primo sia lungo il secondo asse FCA.

Dalla FCA risulta che il flushing è associato ad un incremento nella proporzione relativa di taxa con taglia del corpo grande (2-4 cm), che conducono vita sessile o che sono nuotatori passivi, che preferiscono vivere su substrati fangosi e/o sul periphyton; a livello di gruppi funzionali, i filtratori passivi (passive filter feeders) aumentano, mentre i trituratori (shredders) diminuiscono.

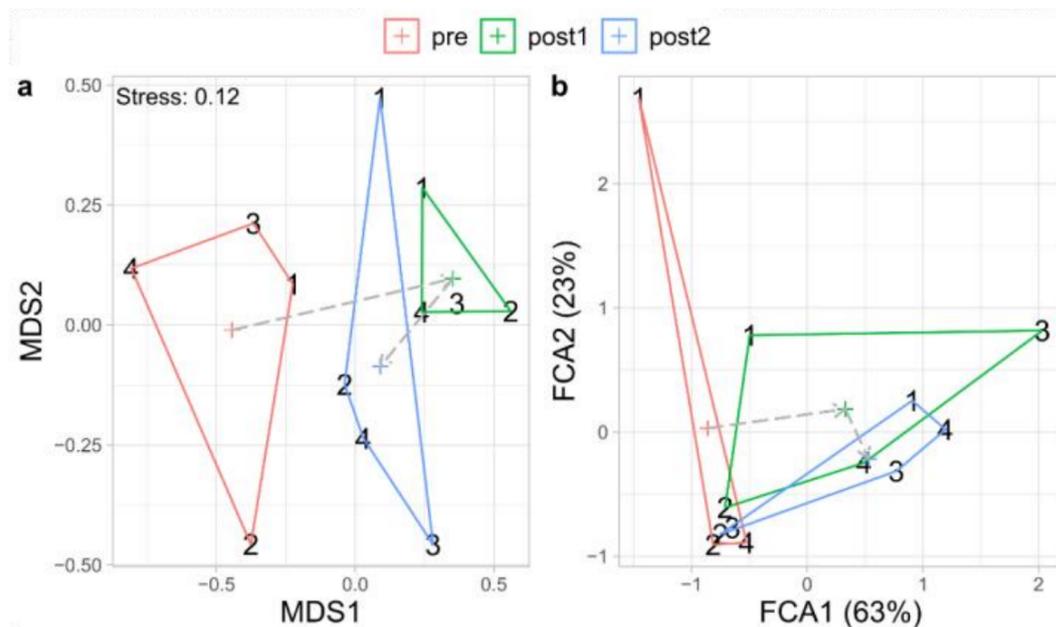


Figura 6.100: Indicazione della composizione tassonomica (a) e delle variazioni nella composizione funzionale delle comunità (b) (Folegot e altri, 2020)

Nonostante il recupero generale della densità e ricchezza, la composizione tassonomica osservata 40 giorni dopo la fine del flushing cambia notevolmente e non ritorna a livelli pre-disturbo 74 giorni dopo. I taxa sensibili sono apparsi particolarmente colpiti, per esempio gli Heptageniidae, molto sensibili alla presenza di sedimenti fini, quasi scompaiono nei campioni 'post 1'.

A livello di composizione funzionale, il cambiamento più evidente si è verificato nel sito più vicino alla diga (sito 1), principalmente a causa della grande diminuzione della densità degli organismi trituratori. Variazioni sensibili della composizione funzionale sono stati evidenti anche nei due siti più a valle (sito 3 e 4) a causa di una diminuzione dei raschiatori (ad es. *Ecdyonurus* sp., *Rhitrogena* sp.), insieme ai trituratori, e del concomitante aumento dei filtratori come *Simuliinae*. Oltre ad alterare la struttura dell'habitat di fondo del corso d'acqua e diminuire la disponibilità di materia organica grossolana di buona qualità per gli organismi, il lavaggio dei sedimenti dalle dighe può anche rilasciare grandi quantità di nutrienti che possono promuovere la crescita del periphyton. Questo fenomeno potrebbe spiegare l'aumento osservato dei taxa che utilizzano fango e periphyton come substrato.

In conclusione, nonostante l'effetto del flushing sulla diversità appaia moderato, i cambiamenti funzionali sono evidenti ed un recupero alle condizioni 'pre' flushing non è stato osservato 74 giorni dopo la fine del flushing, durata massima di questo studio.

Dato che è probabile che queste operazioni di flushing diventino più frequenti in futuro, è necessario uno sforzo coordinato e standardizzato per indagare più approfonditamente le implicazioni ecologiche a lungo termine e in diversi contesti ecologici. Questo potrebbe fornire la base per l'implementazione di schemi di gestione più sostenibili, per esempio una

gestione delle operazioni di flushing diversa (a minor durata ma più frequente) e con una tempistica in linea con i periodi più critici per le specie presenti in alveo, specialmente per i taxa più sensibili.

6.3.9 Considerazioni finali

Le attività di monitoraggio e di simulazione idraulica del bacino idroelettrico di Rio di Pusteria hanno permesso di comprendere meglio quali sono le dinamiche di rimozione dei sedimenti tramite operazioni di flushing.

Si è notato come un bacino idroelettrico con morfologia di questo tipo (molto allungato lungo l'asse principale e con bassa estensione laterale) necessiti operazioni di flushing completa con conseguente riduzione del livello d'invaso, per permettere la rimozione dei sedimenti in tutta l'area di interesse se il grado di interrimento è molto elevato.

Le operazioni di venting (apertura parziale delle paratoie di fondo con mantenimento di un certo livello d'invaso) sono possibili per gradi di interrimento bassi ed in particolare possono essere messe in pratica durante eventi di piena, al fine di evitare il deposito del materiale fine in sospensione all'interno del bacino.

Da sottolineare che ulteriori analisi dovrebbero essere rivolte riguardo ad una migliore comprensione del profilo stratigrafico all'interno del bacino idroelettrico al fine di poter modellare in modo più realistico i fenomeni di erosione. Inoltre sarebbero auspicabili ulteriori analisi riguardo alla tipologia dei sedimenti in sospensione (curva granulometrica).

7 Gestione sostenibile dei sedimenti

Il tema della gestione sostenibile dei sedimenti è stato affrontato recentemente da diversi autori. Kantoush e Sumi (2010) hanno proposto un approccio, riportato in Figura 7.1, che riassume tutta la complessità della tematica. Essa infatti richiede azioni ponderate sulla base della conoscenza delle dinamiche del trasporto solido, della rete degli impianti e dei processi negli alvei (monitoraggio). Sono necessari inoltre criteri di scelta che massimizzino l'utilità del sistema inteso in senso lato. Si dovranno quindi considerare i temi della sicurezza degli impianti congiuntamente a quelli degli impatti ambientali e del rilascio di sedimenti. Le strategie di gestione comportano impatti sull'ambiente e sulla società, misurabili in termini di biodiversità, di qualità delle acque, ma anche di usi (industriali e ricreativi). Infine le strategie di gestione hanno ripercussioni economiche dirette per il gestore, nel breve e nel lungo periodo, e indirette per la collettività, tipicamente nel lungo periodo. Questo schema riassume la complessità della materia. L'esperienza maturata durante il progetto Sediplan

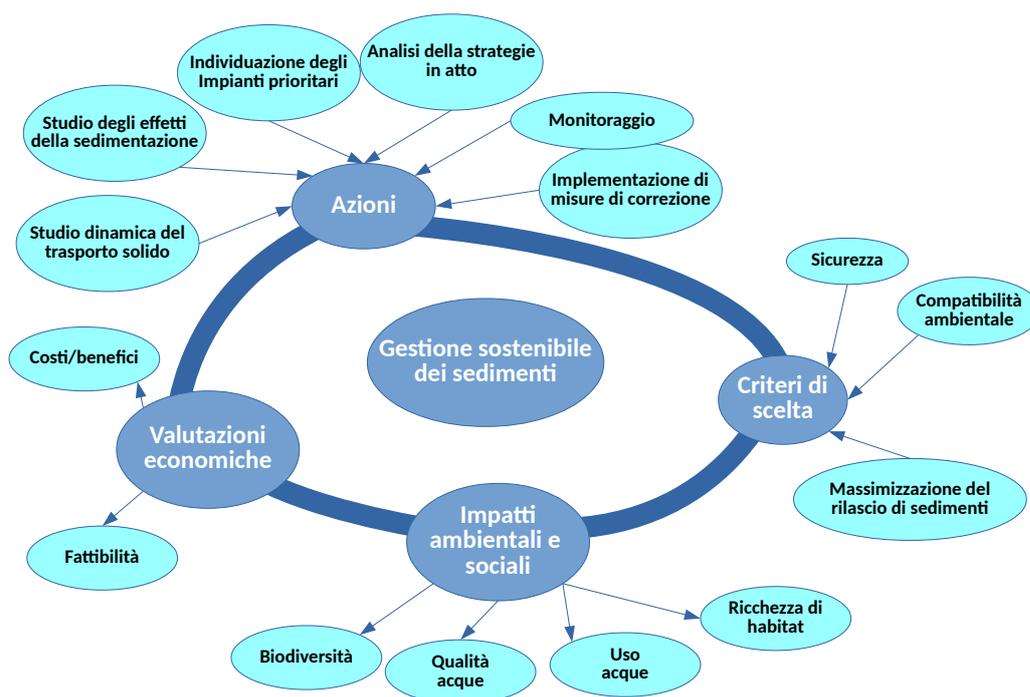


Figura 7.1: Il concetto di gestione sostenibile del sedimento secondo Kantoush e Sumi (2010)

suggerisce una metodologia per individuare la gestione sostenibile dei sedimenti, che persegua l'obiettivo ambizioso di minimizzare sia gli impatti sulla morfologia degli alvei, che le perdite di produzione idroelettrica.

Le attività svolte durante il progetto sono state guidate dalla consapevolezza, oramai ampiamente condivisa a livello scientifico, che il ripristino dei flussi di sedimento (sia in sospensione che al fondo) induce negli alvei una serie di processi di evoluzione morfologica, propedeutica ed indispensabile a garantire un elevato standard di qualità per il corpo idrico. La metodologia proposta è riportata schematicamente in Figura 7.2. Questo approccio è



Figura 7.2: Schema della metodologia per l'individuazione della migliore strategia di gestione del sedimento

diretta conseguenza della sito-specificità delle problematiche dei sedimenti che dipendono da numerosi fattori, fra i quali le caratteristiche idrologiche del bacino idrografico di alimentazione (apporto di acqua e sedimenti), le caratteristiche tecniche dell'impianto e delle opere di deviazione/ritenzione delle acque e il contesto territoriale/amministrativo.

Un elemento importante nell'individuazione delle migliori strategie di gestione dei sedimenti è l'approccio modellistico, perché è uno strumento di indagine utile per l'individuazione delle manovre efficaci, ma richiede di essere messo a punto, applicato e tarato su ogni singolo caso di studio. Nel seguito si riporta una descrizione per ciascuna parte del diagramma riportato in Figura 7.2.

7.1 Approfondimento della conoscenza

7.1.1 Impianto

Un elemento indispensabile alla pianificazione della gestione dei sedimenti è la conoscenza dettagliata delle caratteristiche dell'impianto; è necessario raccogliere tutte le informazioni disponibili, come ad esempio i progetti delle opere di deviazione/trattenuta dell'acqua, eventuali rilievi delle opere, rilievi batimetrici, informazioni relative a manovre di gestione dei sedimenti effettuate in passato, storico delle manovre effettuate.

Un elemento di importanza rilevante è il Foglio Condizioni dell'impianto, sul quale sono riportate le modalità di gestione autorizzate in sede di concessione alla derivazione. In alcuni casi può accadere che le manovre che si ritengono più adatte alla gestione sostenibile del sedimento siano attuabili senza modificare il Foglio Condizioni, mentre in altri casi è necessario richiedere variazioni giustificate.

Più nel dettaglio, è opportuno approfondire i dettagli riguardanti la tipologia di regolazione del serbatoio, le quote e i volumi di regolazione, la caratterizzazione geometrica dell'invaso, intesa come rapporto fra lunghezza e larghezza media, lunghezza e profondità media.

7.1.2 Piani di gestione dei sedimenti

I gestori idroelettrici hanno prodotto per ciascun impianto un piano di gestione, che contiene una raccolta di informazioni relative all'impianto e all'alveo del corso d'acqua e le strategie attuabili per la gestione dei sedimenti. Questi documenti sono stati redatti negli scorsi decenni e sono stati approvati dagli organi amministrativi competenti.

7.1.3 Ricostruzione storica

Una delle maggiori fonti affidabili di dati relativi alle problematiche legate ai sedimenti in un impianto idroelettrico è la ricostruzione storica di tutte le informazioni desumibili prima dai progetti e dalle attività di costruzione dell'impianto, e poi da tutte le particolarità che rendono unica e sito-specifica la strategia di gestione. La raccolta di queste informazioni deve essere effettuata anche mediante l'intervista agli operatori. Per gli impianti nelle Alpi italiane, generalmente gestiti in maniera uniforme dall'ENEL, un'informazione affidabile relativa al volume dei sedimenti in arrivo negli invasi può essere effettuata consultando i documenti della contabilità di cantiere delle prime operazioni di rimozione dei sedimenti. In diversi casi, infatti, i sedimenti venivano rimossi meccanicamente e utilizzati per la riprofilatura dei versanti e delle campagne.

7.2 Confronto con altre esperienze e dati noti

Lo studio approfondito delle **caratteristiche principali dell'impianto**, come il volume dell'invaso, il tipo di regolazione o il funzionamento degli organi di scarico, ma anche la conoscenza del **bacino idrografico** sotteso, quindi la capacità di produzione e trasporto di sedimento, sono gli strumenti di partenza per ricercare la strategia migliore per una gestione sostenibile

dei sedimenti nei bacini idrici di accumulo. In combinazione, è possibile ottimizzare anche altri aspetti quali l'incremento dell'efficienza del volume disponibile nell'invaso e il miglioramento dell'ecologia acquatica a valle dello sbarramento.

Ad esempio, volendo ricercare la migliore strategia da applicare ad un impianto caratterizzato da un volume di vaso ridotto (regolazione settimanale) ed un elevato trasporto di sedimento fine, già con queste prime indicazioni è possibile effettuare una ricerca bibliografica mirata, identificando nella letteratura casi di studio simili e valutando le diverse strategie di gestione precedentemente applicate. Seguendo questo approccio di lavoro è possibile analizzare i casi studio in maniera critica e identificare velocemente tra le strategie possibili (fluitazione, sluicing, venting, bypass, dragaggio e scavo con mezzi meccanici) quella, o la combinazione di quelle, che meglio si presta all'impianto in esame.

A completamento di quanto presente in letteratura, è fondamentale lo scambio di esperienze tra i gestori, le amministrazioni pubbliche e i tecnici specializzati in materia. La collaborazione tra i diversi gestori di impianti idroelettrici è un punto chiave nella gestione di impianti a cascata, in quanto solo attraverso la **coordinazione delle manovre** di gestione dei sedimenti è possibile adottare una strategia di gestione sostenibile su larga scala.

Il **Comitato Nazionale Italiano per le Grandi Dighe (ITCOLD)** è un'associazione culturale e scientifica che si propone di promuovere ed agevolare lo studio di tutti i problemi connessi con la costruzione e l'esercizio delle dighe, ed offre la possibilità, attraverso incontri o workshop, di mettere in contatto i diversi portatori di interesse.

Il corrispettivo internazionale è la Commissione internazionale sulle grandi dighe (ICOLD), un'organizzazione non governativa che fornisce un forum per lo scambio di conoscenze ed esperienze in materia di ingegneria delle dighe. Dalla fine degli anni Sessanta, l'attenzione della ICOLD si è concentrata su temi di attualità come la sicurezza delle dighe, il monitoraggio delle loro prestazioni, la ri-analisi delle dighe più vecchie e degli sfioratori, gli effetti dell'obsolescenza e l'impatto ambientale. Più di recente, sono stati introdotti temi riguardanti gli studi sui costi in fase di progettazione e costruzione, lo sfruttamento dei fiumi internazionali, l'informazione per il pubblico generale, e il finanziamento dei progetti.

La comunicazione e la condivisione del sapere acquisito sono i punti di forza per intraprendere un percorso di gestione del sedimento sostenibile che mira a rendere più efficienti le performance dell'impianto nel rispetto dell'ecologia fluviale.

7.3 Sistema delle forzanti

Il sistema delle forzanti è costituito dal bacino idrografico che alimenta il serbatoio, ed è caratterizzato dai fenomeni di trasporto che si osservano al suo interno. Si tratta quindi conoscere con sufficiente grado di dettaglio il trasporto di acqua e sedimenti in tutto il bacino idrografico, fino al serbatoio.

La conoscenza dell'alveo sul quale insiste l'impianto deve essere ricercata, sia a monte che a valle dello sbarramento, con particolare attenzione ai substrati presenti, alla eventuale presenza di fenomeni di colmatazione (elevata presenza di sedimento fine fra i ciottoli e la ghiaia), alla composizione granulometrica, alle componenti biotiche presenti in alveo e al-

l'interazione con altri impianti presenti sia a monte che a valle. La ricognizione dell'alveo è un'operazione preliminare alla progettazione di eventuali campagne di misura.

Altrettanto importante è l'analisi del bacino idrografico che alimenta l'impianto, con particolare attenzione alle quote, alla litologia, ai dissesti di versante, alla presenza di aree glaciali, al regime idrologico e del trasporto solido. È opportuno anche un approfondimento che preveda l'analisi statistica dei dati di portata, così da caratterizzare il regime idrologico, i valori di portata media mensile, i massimi valori di piena e la stima dei valori di portata che movimentano le differenti classi granulometriche del sedimento presente lungo il corso d'acqua. Queste analisi, sebbene presentino un imprescindibile grado di incertezza, concorrono alla definizione dei dati necessari allo studio di scenari plausibili per la gestione dei sedimenti.

Informazioni importanti sul ciclo dei sedimenti nel bacino di interesse possono essere raccolte analizzando i dati relativi serbatoio. Si tratta in primis della quantità di sedimenti presenti nell'invaso, che può essere stimata sulla base di due o più rilievi batimetrici effettuati in momenti differenti. Dal confronto tra rilievi batimetrici effettuati in epoche diverse è infatti possibile stimare con un elevato grado di precisione l'apporto annuo medio di sedimenti in ingresso al serbatoio. Tali rilievi devono anche essere confrontati con la topografia originaria per caratterizzare anche la distribuzione spaziale dei depositi di sedimento all'interno del serbatoio. Infine, devono essere fatte le opportune considerazioni sui depositi di sedimento nelle immediate vicinanze degli organi di scarico. Quando il buon funzionamento degli scarichi è pregiudicato dalla presenza di depositi si può intervenire con una fluitazione in pressione, oppure con operazioni di dragaggio circoscritto all'area di imbocco degli scarichi. Oltre alla caratterizzazione della curva granulometrica è opportuno effettuare analisi chimico-fisiche per la quantificazione dei metalli pesanti (cadmio, cromo, mercurio, piombo, nichel, arsenico), nonché di azoto e fosforo, carbonio organico totale e IPA (idrocarburi policiclici aromatici).

La tendenza più recente relativamente alla caratterizzazione dei sedimenti è quella di effettuare test eco-tossicologici, includendo un numero di organismi significativo. Questo approccio presenta il pregio di considerare anche gli effetti di lungo termine osservabili in seguito alla liberazione di questi inquinanti in fase disciolta, a causa della modificazione dei parametri chimico-fisici durante le manovre di rilascio dei sedimenti (Marziali e altri, 2017).

7.4 Approfondimento modellistico

7.4.1 La numerica come strumento diagnostico e previsionale

I corsi d'acqua sono ad oggi al centro di interessi divergenti, che spaziano dallo sfruttamento idroelettrico delle acque alla protezione idraulica del territorio ed agli interventi di rinaturalizzazione e valorizzazione ecologica degli ambienti acquatici. Al fine di mirare ad un uso sostenibile nel lungo periodo risulta pertanto necessario sviluppare una visione di sviluppo d'insieme, che sappia considerare contemporaneamente tutti gli aspetti legati alla gestione degli ambienti fluviali. Si assiste inoltre ad una crescente necessità di adottare approcci sempre più standardizzati nelle procedure e nelle modalità di gestione di tutti gli aspetti legati alle risorse idriche, dalla previsione degli eventi estremi alla gestione del rischio, dal

monitoraggio alla pianificazione di interventi strutturali o gestionali. Tale impostazione rende quindi necessario il ricorso a modelli di simulazione, in grado di rappresentare in dettaglio, e quindi di comprendere in modo più approfondito, le fenomenologie fisiche di interesse. Per lo sviluppo e la gestione di progetti ed interventi, le simulazioni numeriche permettono quindi di gestire con più efficienza le operazioni progettuali, affinando i concetti ed analizzando nel contempo tutte le ripercussioni che gli interventi stessi determinano, al fine di armonizzare al meglio tutti gli interessi che gravitano intorno alle risorse idriche.

Un approccio numerico al problema risulta particolarmente utile anche per l'adozione di tecniche di gestione del trasporto solido lungo le aste fluviali, poiché è in grado di inquadrare le interazioni che si instaurano tra la portata liquida e solida e tutte le opere trasversali e longitudinali che alterano, condizionano e modificano le naturali dinamiche di sviluppo di tali processi. Un approccio numerico consente pertanto di analizzare lo sviluppo delle dinamiche morfologiche dell'alveo e, mediante l'individuazione di idonei indicatori di analisi, consente di valutare anche gli impatti sulla biodiversità fluviale. L'utilizzo di modelli idrodinamici risulta per questo strategico anche per la simulazione di invasi artificiali ed ogni genere di organo di controllo, la cui rappresentazione all'interno del sistema modellistico risulta spesso di importanza rilevante per la corretta simulazione degli effetti attesi a valle. Sempre più frequentemente questo approccio viene utilizzato anche a scala locale per il supporto alle decisioni nella gestione di invasi ed organi di regolazione, le cui manovre possono in alcuni casi ridurre o incrementare gli effetti legati a determinate forzanti di sistema, tra cui appunto il trasporto solido. In Figura 7.3 si riportano degli esempi dell'applicazione di modelli numerici per la gestione di problemi di matura idrodinamica.

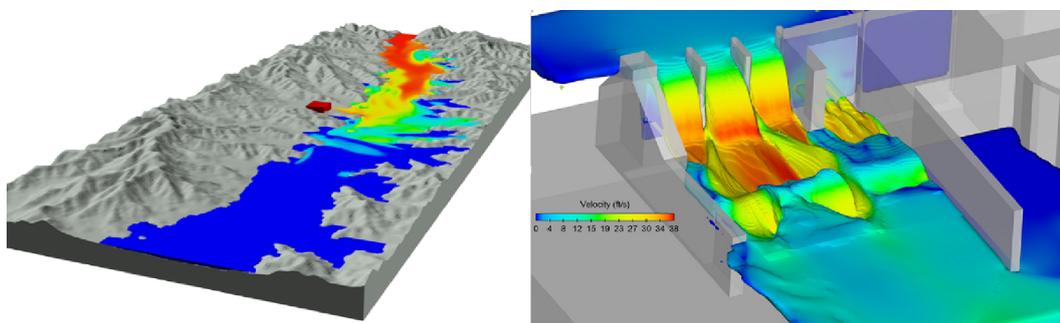


Figura 7.3: *Esempi di simulazioni 2D e 3D relativi all'idraulica fluviale ed al dimensionamento delle opere trasversali*

La scelta della tipologia modellistica dipende ovviamente dai problemi da analizzare e dalle dimensioni del dominio di calcolo, con una flessibilità legata indissolubilmente anche alle capacità computazionali delle risorse hardware e software a disposizione. I modelli con un'elevata risoluzione spaziale o che interessano grandi settori di calcolo richiedono tempi di elaborazione relativamente lunghi, che possono essere ottimizzati riducendo il grado di accuratezza modellistica o la risoluzione spaziale o temporale dello stesso.

Il livello di performance dei modelli numerici è ad oggi relativamente elevato, grazie anche all'utilizzo di moduli di autocorrezione che ottimizzano il grado di corrispondenza tra il dato

osservato e quello simulato. La bontà dei risultati dipende in ogni caso, oltre dall'esperienza dell'operatore stesso, anche da numerosi elementi di incertezza, in grado di alterare la risposta di un modello numerico, non solo riconducibili ai limiti modellistici ma anche alle misure di campo, come:

- la qualità dei dati in input, con particolare riferimento alle modalità ed all'accuratezza spaziale e temporale con cui i dati vengono raccolti ed elaborati;
- l'affidabilità delle letture idrometriche e delle scale di deflusso (che associano livello e portata defluente) nelle sezioni strumentate nonché dei dati topografici utilizzati;
- l'affidabilità ed alle incongruenze che inevitabilmente si generano tra modellistica idraulica, idrologica e morfologica.

L'insieme dei numerosi fattori di incertezza sopra richiamati, a cui si aggiunge inevitabilmente anche la performance stessa del sistema modellistico, può affliggere la bontà dei risultati ottenuti in output. In ogni caso occorre sottolineare come l'affidabilità dei modelli numerici, sempre più diffusi nella pratica progettuale, risulti fortemente dipendente dal grado di conoscenza che si ha della realtà. Come illustrato di seguito, risulta necessario scegliere e definire con grande cura le condizioni al contorno del problema da simulare ed implementare un dataset in grado di descrivere con un sufficiente grado di precisione le caratteristiche reali degli alvei, delle opere e dei sedimenti. Tali elementi vengono sostanzialmente descritti da un punto di vista matematico e computazionale, e risulta pertanto chiaro come il grado di incertezza sia sostanzialmente legato alla capacità di calibrare in modo appropriato i modelli sulla fisica reale dei fenomeni e dei processi attesi. Inoltre, non bisogna dimenticare che le leggi applicate (ad esempio le formule per il trasporto solido) hanno degli intrinseci limiti di validità, e si fondano su alcune ipotesi di base.

L'alternativa alle simulazioni numeriche è costituita dallo sviluppo di modelli fisici, che restituiscono risultati qualitativamente migliori sulla configurazione progettuale scelta, ma che nel contempo comportano costi molto più elevati ed una minore flessibilità in caso di modifiche o accorgimenti progettuali in itinere. Se confrontato con i modelli fisici di laboratorio, il ricorso alle simulazioni numeriche come strumento diagnostico e previsionale degli impatti attesi e del successo degli interventi consente di confrontare in modo non troppo oneroso le varianti di progetto, raggiungendo nella gran parte dei casi elevata precisione ed ottima capacità previsionale.

Nei paragrafi seguenti sono fornite delle indicazioni di lavoro considerate utili per un corretto approccio alla numerica computazionale volta all'analisi e alla risoluzione delle problemi relativi ai corsi d'acqua e alle strutture idrauliche che vi incidono.

7.4.2 Scelta del modello

Nell'approcciare un problema dal punto di vista modellistico, la prima scelta da affrontare riguarda il grado di semplificazione che si ritiene accettabile nella rappresentazione del fenomeno fisico. I modelli numerici possono essere infatti mono-, bi-, o tri-dimensionali, a crescente grado di complessità.

La rappresentazione monodimensionale (1D) di un corso d'acqua si fonda sul concetto di moto medio. L'ipotesi di base è che esista una direzione principale del moto (quella longitudinale), prevalente sulle altre, e che le variazioni spaziali e temporali della geometria considerata siano abbastanza lente da rendere trascurabili i discostamenti dal moto medio. I modelli 1D sono pertanto modelli molto semplificati, usualmente adottati nella rappresentazione di fenomeni su scala molto vasta, a partire dalla scala di bacino fino ad arrivare a simulazioni su scala sovra-nazionale. In questi casi l'oggetto di studio può essere la quantificazione del bilancio idraulico o del trasporto solido, ad un dettaglio che rende superflua l'applicazione di modelli più raffinati e più costosi dal punto di vista del tempo computazionale. Tuttavia, nella modellazione degli scenari di gestione degli invasi le scale in gioco sono molto più piccole, e una rappresentazione affidabile delle dinamiche che caratterizzano l'afflusso e il deflusso di acqua e sedimenti non consente di applicare le semplificazioni introdotte dai modelli 1D.

La rappresentazione bidimensionale (2D) di un corso d'acqua si fonda invece sul concetto di "acqua bassa": l'assunto alla base della semplificazione è che le scale longitudinale e trasversale del moto siano prevalenti su quella verticale, che può essere mediata. I modelli 2D forniscono pertanto un moto medio sulla verticale, effetto della combinazione di un moto medio principale (longitudinale), e di un moto medio secondario (trasversale). Sono modelli in grado di rappresentare il flusso in presenza di allargamenti o restringimenti della sezione dell'alveo, ma richiedono informazioni topografiche più dettagliate rispetto ai modelli 1D. Sono pertanto efficaci nella rappresentazione di un corso d'acqua nella scala dei km, e possono essere impiegati per rappresentare gli afflussi d'acqua e sedimenti ad un invaso, o l'interazione tra due o più invasi in serie agenti sullo stesso corso d'acqua o su corsi d'acqua connessi tra loro. Tuttavia, mostrano delle lacune quando devono simulare scenari più complessi dal punto di vista idraulico e geometrico, e in cui non sia possibile fare l'assunto che il moto sia pressoché uniforme lungo la verticale, come nel caso della rappresentazione di un invaso.

In questo caso, i risultati più accurati sono garantiti dai modelli tridimensionali (3D), che non adottano alcuna semplificazione e applicano tout-court le leggi che governano il moto dell'acqua e il trasporto dei sedimenti. Questi modelli sono in grado di simulare nel dettaglio i fenomeni che avvengono nel caso di svaso (o venting, sluicing, etc) di un invaso. Si tratta di dinamiche quali ad esempio l'erosione laterale delle sponde, che dà origine al canale inciso tipico degli svassi, o il funzionamento degli scarichi della diga come luci di fondo in pressione, associato a fenomeni di scavo localizzato. Un modello 3D è in grado di rappresentare queste dinamiche che, trascurate, causerebbero il discostamento tra i risultati della simulazione numerica e il caso reale, producendo ad esempio errori nel bilancio di sedimenti rilasciati da un impianto a fine svaso. Cionondimeno, non bisogna dimenticare che un modello numerico si fonda sulle formule esistenti in letteratura, e quindi il suo funzionamento non può prescindere dalle limitazioni legate al campo di applicazione e di validità delle stesse ed all'incertezza insita nella scelta dei parametri di tali formule. Naturalmente l'accuratezza fornita dai modelli 3D non è priva di costi, in termini di grado di precisione dell'informazione topografica richiesto in ingresso, ed in termini di costo computazionale, sia come potenza di calcolo che come tempo richiesti dalla simulazione.

Per quanto concerne gli oneri economici, il costo di un modello si può essenzialmente dividere in due parti. La prima è il costo legato alla ricerca e alla validazione matematica, e comprende il costo del progetto e delle persone che ci lavorano, nonché il materiale necessario allo sviluppo dello stesso. La seconda parte è legata invece al costo di esecuzione del modello. Questa può essere sviluppata internamente se si dispone di una struttura di calcolo abbastanza potente, o in caso contrario esternamente, affidando l'incarico a ditte o strutture terze. Il costo di sviluppo vero e proprio (prima parte) permette di creare strumenti che possono poi essere sfruttati per molto tempo. La fase di utilizzo, quella che effettivamente interessa a Gestori ed Enti coinvolti nella gestione degli invasi, ha un costo relativamente contenuto, che però può aumentare a seconda dell'intensità dell'utilizzo. Una procedura di ottimizzazione svolta alla fine della fase di sviluppo può aumentare l'efficienza del metodo e quindi ridurre i costi nella seconda fase (serviranno meno ore di calcolo e strutture meno potenti per svolgere le medesime simulazioni). Il costo di un set di simulazioni è quindi proporzionale al numero e alla qualità degli scenari che si vogliono simulare, e si articola nei seguenti step procedurali:

- recupero e analisi dati disponibili;
- costruzione della mesh di calcolo;
- calibrazione e validazione del modello 2D/3D;
- simulazione numerica, relativa a tutti gli scenari di analisi;
- post-processing e verifiche di plausibilità.

Complessivamente, il costo per un set modellistico sufficientemente rappresentativo per un invaso di grandezza paragonabile a quello di Rio Pusteria, varia da ca. 30-35 k€ per un modello 2D e ca. 40-45 k€ per un modello 3D.

7.4.3 Implementazione del dataset

Il primo passo di fondamentale importanza per lo sviluppo di un'azione modellistica è rappresentato dall'acquisizione dei dati necessari e dall'implementazione di un idoneo dataset. Risulta infatti indispensabile conoscere le condizioni iniziali e le condizioni al contorno da implementare nel modello, in modo da rappresentare con sufficiente accuratezza la realtà. La conoscenza diretta delle forzanti idrologiche ed idrauliche (tiranti idrici, portate liquide, trasporto solido di fondo ed in sospensione), della distribuzione granulometrica e composizione del materiale solido o delle peculiarità delle coperture vegetali di sponda rendono più agili le operazioni di calibrazione. Si può pertanto rimarcare come una solida base di dati consenta di incrementare notevolmente l'affidabilità del modello. Andando per gradi:

- In primis, risultano di fondamentale importanza le **informazioni topografiche**, rappresentate generalmente dalle sezioni trasversali degli alvei o da opportune batimetrie di dettaglio per quanto concerne gli invasi, la cui risoluzione dovrà essere commisurata alle esigenze delle simulazioni (preferibilmente risoluzione inferiore a 1 m nel caso

degli alvei, dell'ordine di qualche cm o decina di cm nel caso di un vaso). Tali dati saranno poi usati per la costruzione delle mesh di calcolo, che dovranno rappresentare nel modo più realistico possibile le reali condizioni topografiche di sito. L'ampiezza delle aree e/o dei tratti da indagare dovrà essere tale da garantire una buona stabilità computazionale al modello rappresentando al meglio le condizioni al contorno di valle e di monte. Soprattutto nel caso di vaso o ambiti fluviali soggetti ad evidenti problematiche di interrimento e lungo corsi d'acqua caratterizzati da intenso trasporto solido, si consiglia di replicare le operazioni di rilievo strumentale o batimetrico nel corso del tempo ad intervalli regolari o dopo eventi idrologici particolarmente gravosi, in modo da acquisire informazioni utili relativamente al grado di interrimento e all'intensità dei fenomeni accaduti, correlabili successivamente alle eventuali problematiche insorte.

- Per quanto concerne le condizioni al contorno occorre **determinare le forzanti idrologiche ed idrauliche**, rappresentate dalle portate liquide e dalle portate solide, sia al fondo che in sospensione. Per quanto concerne le prime, la rete di monitoraggio in provincia di Bolzano risulta essere sufficientemente solida, pertanto è possibile riferirsi, almeno per i grandi fiumi di fondovalle ed i grandi tributari laterali, alle numerose stazioni idrometriche in funzione sul territorio. I dati registrati dovrebbero essere comunque sottoposti ad attenta validazione, anche in collaborazione con gli Uffici provinciali competenti. I valori del trasporto solido non sono nella maggior parte dei casi misurati. Spesso risulta necessario stimare in prima battuta l'apporto annuo dei sedimenti mediante regressioni che correlino il trasporto solido agli idrogrammi liquidi influenti. Tali approcci rappresentano comunque delle astrazioni basate su ipotesi (spesso per similitudine con altri bacini) e su formulazioni di letteratura, che come ovvio hanno limiti di applicabilità molto stringenti. Una attenta campagna di monitoraggio e di rilievo risulta pertanto necessaria, come illustrato in dettaglio nel capitolo 4. Nei corsi d'acqua caratterizzati da un ingente trasporto in sospensione, è fortemente consigliata l'installazione di almeno una stazione torbidimetrica a monte della sezione di interesse e la realizzazione di una campagna di osservazione e di raccolta dati sufficientemente prolungata nel tempo in modo da cogliere tutte le peculiarità sito-specifiche delle dinamiche in essere.
- Per una caratterizzazione dei sedimenti fluviali risulta necessario procedere con opportuni **campionamenti del materiale di fondo**, da effettuarsi sia nelle zone emerse (banchi affioranti o similari) che nei tratti maggiormente rappresentativi delle sezioni trasversali, a diverse profondità ed in differenti zone caratteristiche, nel caso in cui si indagano le dinamiche proprie degli invasi. Le tecniche di campionamento variano ovviamente in funzione delle caratteristiche fisiche del sito (profondità, velocità della corrente, granulometria, vegetazione etc.) ed hanno come obiettivo l'estrazione di campioni indisturbati per la ricostruzione dell'evoluzione del fondo ed il sostanziale mantenimento delle condizioni redox. In caso di sedimenti fini di matrice lacustre è necessario l'utilizzo di appositi campionatori a gravità o box corer. Soprattutto negli invasi artificiali risulta sicuramente efficace la realizzazione di una dettagliata campagna di campionamenti stratigrafici. Fatte salve tutte le specifiche di legge, occorre sempre

prevedere anche l'analisi della composizione fisico-chimica dei sedimenti, se non altro in termini di contenuto d'acqua (w), contenuto organico (OM) e contenuto di metalli pesanti (ad es. Cd, Cr, Zn, Pb, Ni) mediante le più opportune tecniche spettroscopiche. La conoscenza pregressa di tali particolari consente ad esempio di organizzare in modo ottimizzato l'eventuale processo di deposizione e smaltimento dei materiali estratti.

- Nel caso in cui il target di progetto sia finalizzato all'ottimizzazione di opere esistenti o alla valutazione della risposta idraulica di nuove opere (siano esse dighe, traverse, opere di presa, ventole etc.) risulta imprescindibile ricostruire in dettaglio le **caratteristiche geometriche e funzionali** delle stesse, procedendo con l'acquisizione di tutta la documentazione progettuale disponibile ed effettuando anche mirate campagne di rilievo topografico nelle aree accessibili qualora le opere siano già esistenti. Tutto lo storico delle operazioni effettuate (frequenza, entità, durata, volumi rimossi in occasione di fluitazioni, svassi, dragaggi e/o altre informazioni sito specifiche) e delle problematiche riscontrate risulta inoltre imprescindibile per comprendere a fondo le dinamiche in essere ed implementare un pacchetto di misura che sappia risolvere le criticità. Di fondamentale importanza quindi la collaborazione dei Gestori.

Fatte salve tutte le considerazioni di cui sopra, si stima che una spesa variabile tra i 25.000 ed i 30.000 € possa garantire l'implementazione di un dataset di dati sufficientemente rappresentativo per un vaso di medie dimensioni. Il costo dei rilievi batimetrici varia naturalmente a seconda dell'estensione della superficie da rilevare da qualche migliaio di euro a qualche decina di migliaia di euro.

7.4.4 Calibrazione e validazione

Una volta scelto il modello ritenuto adatto alla rappresentazione di quanto oggetto di interesse, prima di poter procedere alla simulazione dello scenario desiderato, è necessario provvedere alla sua calibrazione e validazione. La **calibrazione prevede il settaggio dei parametri fisici che descrivono il problema, e la validazione consiste nel testare il modello così calibrato su un evento noto**. Vale la pena di sottolineare come l'operazione di calibrazione sia fondamentale per il buon funzionamento del modello: scelto ad esempio un modello 3D, le possibili fonti di errore sono connesse in parte alla bontà delle formule di letteratura, soggette ad un inevitabile grado di incertezza, ma soprattutto al grado di accuratezza con cui si conoscono la geometria, la fisica, e le forzanti del caso reale. La qualità della calibrazione del modello è quindi connessa alla qualità dei dati di input che compongono il dataset:

- la serie di dati che costituisce le forzanti di input (liquide o solide) deve essere abbastanza lunga da costituire una statistica robusta e deve essere validata;
- la granulometria della frazione solida trasportata in sospensione o che compone il letto deve essere nota almeno per quel che riguarda il D50, tuttavia maggiori sono le classi granulometriche note, migliore è la rappresentazione;

- la topografia del tratto fluviale o dell'invaso oggetto di studio deve essere nota ad un buon livello di dettaglio, e si deve quindi disporre di un rilievo sufficientemente recente;
- nel caso di sistemi stratificati come i letti degli invasi, deve essere nota la composizione stratigrafica del deposito, che influenza l'efficacia con cui l'acqua è in grado di asportare il materiale in uno scenario di svaso. Strati più profondi del deposito sono in genere più grossolani e coesi, e pertanto più difficili da erodere.

Nel caso non si disponesse dei dati di input necessari alla calibrazione del modello, questa potrebbe essere effettuata in back analysis: in questo caso, noti ad esempio gli effetti di una piena, si potrebbe cercare attraverso simulazioni numeriche quale sia l'evento che ha prodotto quegli effetti. Naturalmente, maggiore è il numero di forzanti e di parametri incogniti, maggiore è la difficoltà nell'individuare la combinazione che riproduce l'evento.

Una volta definiti tutti i parametri e le forzanti relative alla condizione reale, il modello va validato su un evento noto. Se si tratta di simulazioni di gestione di un invaso, per la validazione è necessario disporre dei dati relativi ad uno svaso, nella fattispecie la batimetria post-evento, la serie accurata delle portate in uscita durante l'evento, i meccanismi di controllo con cui gli scarichi vengono aperti o chiusi, e la serie accurata delle torbidità. Altrettanto importante sarebbe conoscere lo stato del tratto fluviale a valle dell'invaso pre- e post-svaso, in modo da verificare che il modello sia in grado di riprodurre con un buon grado di accuratezza le dinamiche di trasporto dei sedimenti. Se quanto si vuole simulare è invece l'effetto della realizzazione di un'opera, è necessario prima validare il modello verificando che sia in grado di riprodurre un evento reale sul tratto oggetto di studio; in questo caso la validazione dovrebbe essere effettuata su un evento intenso di cui si conoscano portate liquide nel tratto di studio, livelli, topografia pre- e post-evento, eventuali variazioni nella composizione granulometrica.

Come sottolineato, l'accuratezza di un modello è fortemente dipendente dal dataset di cui si dispone, ma anche dal complesso delle conoscenze relative al sistema simulato, ed è pertanto essenziale il confronto con i Gestori e gli Enti interessati, che dispongono dei dati e dell'esperienza necessaria ad un'analisi critica dei risultati.

7.4.5 Individuazione degli scenari e delle manovre da simulare

Definite le forzanti idrologiche ed idrauliche che insistono sul sistema ed acquisita una rappresentazione topografica realistica ed il più attuale e dettagliata possibile dell'area di intervento, risulta necessario inquadrare in modo obiettivo e lungimirante le **varianti progettuali** da indagare. La scelta del set di indagine da predisporre deve necessariamente inserirsi in un'ottica di valutazione integrale delle problematiche in essere, che può essere schematizzata come segue:

- identificazione delle criticità in essere, inquadrando in dettaglio i limiti ed i deficit delle strategie di gestione dei sedimenti fluviali ad oggi adottate nell'area di studio;
- studio delle possibili varianti, includendo come da buona prassi anche il mantenimento dello status quo (variante zero) in un'ottica di comparazione con lo stato attuale;

- valutazione degli effetti delle misure relative a ciascuna delle varianti individuate, in termini di impatto generale sul trasporto solido (fondo e sospensione), sulla qualità delle acque e sulla variabilità temporale e spaziale degli ecosistemi a valle delle opere;
- analisi costi benefici, includendo qualora possibile anche valutazioni monetarie o qualitative sui danni o sui benefici ambientali attesi, in modo da valutare l'effettiva sostenibilità delle misure progettate. In questa fase dovranno essere valutate tutte le esigenze tecniche di progetto, unitamente alle peculiarità ambientali in essere ed ai target di mantenimento e/o miglioramento della qualità degli habitat fluviali di sito. Parimenti dovrà essere indagata anche la disponibilità dei terreni limitrofi agli ambienti fluviali, per garantire una logistica sostenibile alle necessarie operazioni cantieristiche e di deposizione di eventuali esuberi di materiale;
- simulazioni numeriche di dettaglio ed approfondimenti progettuali unicamente di quelle varianti che garantiscono il raggiungimento dei target di progetto con un buon equilibrio tra sostenibilità economica e beneficio ambientale.

La scelta degli scenari e delle manovre da considerare dovrà pertanto essere orientata su criteri di sostenibilità economica e finanziaria, anche a medio e lungo termine, senza trascurare anche le eventuali perdite di produzione (temporanee o permanenti) a cui potrebbero andare incontro i produttori di energia. Emerge quindi la necessità di una imprescindibile fase di interazione con i Gestori, che di fatto vantano una profonda conoscenza delle dinamiche e dei processi che intercorrono presso i loro impianti, anche e soprattutto in tema di sedimenti. Parimenti, dovranno essere scelti degli indicatori di natura ambientale ed ecologica, previa concertazione con gli Enti pubblici preposti alla valutazione ed alla approvazione di tutte le scelte progettuali, che sappiano descrivere spazialmente e temporalmente gli effetti attesi di tutte le misure in progetto. Risulta pertanto applicabile una metodologia SWOT¹ o similare, fermo restando la correttezza di tutti gli indicatori assunti alla base delle valutazioni da effettuarsi. Gli scenari dovranno essere costruiti sulla scorta di tutte le informazioni disponibili in modo da rispecchiare e risolvere le effettive criticità del sistema, procedendo ad esempio come segue:

- definizione chiara, condivisa e basata da un punto di vista gestionale, tecnico e normativo del target di progetto (ovvero degli obiettivi alla base della progettazione);
- classificazione degli eventi in funzione dei diversi tempi di ritorno, in modo da analizzare le risposte del sistema in condizioni ordinarie, frequenti o estreme;
- classificazione degli eventi marcati da trasporto solido ingente (di fondo o in sospensione, a seconda del pregresso storico noto oppure delle peculiarità del bacino imbrifero sotteso) ed eventualmente da marcato trasporto di materiale flottante;

¹L'analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats) è una metodologia utilizzata per effettuare scelte strategiche a partire dalla mappa dei fattori interni ed esterni, positivi o negativi, di un'organizzazione o progetto.

- definizione di condizioni di valle e di monte realistiche e condivise con i vari Gruppi di Interesse, anche in funzione delle esigenze di natura ecologica e morfologica dei sistemi fluviali interessati;
- rispetto delle normative di settore in vigore.

Si consiglia in ogni caso di **limitare la numerosità degli scenari** e delle manovre possibili da portare in una fase dettagliata di progettazione, al fine di contenere gli oneri economici delle fasi di valutazione tecnica preliminare. La numerosità degli scenari non incide di fatto sulla correttezza né sulla affidabilità delle valutazioni ma ne inficia notevolmente la durata. Un percorso per step successivi può pertanto risultare molto utile:

- elenco di tutti i possibili scenari di accadimento (forzanti di sistema) e di un opportuno ventaglio di operazioni possibile che si sposano con le caratteristiche degli impianti e dei bacini imbriferi sottesi;
- valutazione qualitativa, eventualmente tramite approccio matriciale (fondato cioè su un'opportuna scelta di indicatori), di tutti gli scenari e di tutte le manovre possibili, che consenta di focalizzare un ristretto ventaglio di possibilità realisticamente attuabili, tecnicamente fattibili ed economicamente sostenibili;
- concertazione delle valutazioni qualitative con i Gestori, gli Uffici pubblici preposti ed i principali Gruppi di Interesse (ad es. pescatori), con l'obiettivo di aumentare la partecipazione nel processo decisionale e definire obiettivi comuni;
- progettazione di dettaglio con supporto numerico 2D/3D esclusivamente delle varianti che meglio si confanno a tutti i target di progetto. Potranno eventualmente essere simulati i processi che intervengono nelle dinamiche di processo (Figura 7.4), e la loro implementazione modellistica dovrà essere valutata caso per caso.

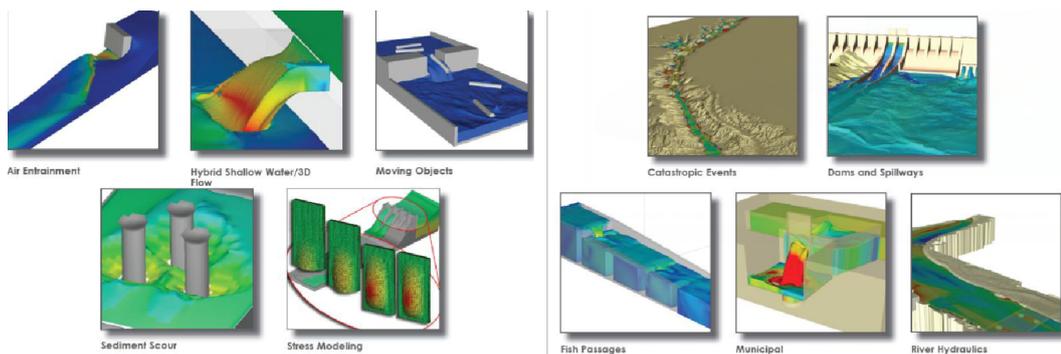


Figura 7.4: Possibili processi da inserire nelle modellazioni (fonte: www.flow3d.com)

7.4.6 Analisi critica dei risultati

I risultati della simulazione di uno scenario di gestione vanno sempre letti in maniera critica, sia sotto il profilo dell'attendibilità che sotto il profilo delle conseguenze ambientali. Per quanto riguarda la prima, i risultati sono tanto più **attendibili** quanto più costruiti in stretta correlazione con il complesso delle conoscenze dello stato attuale. È per questo che è indispensabile il confronto con il Gestore, che in ultima analisi è la Figura in grado di dire con maggiore consapevolezza se lo scenario simulato sia riproducibile nella realtà o se sia irrealizzabile per ragioni tecniche, economiche, o di altro tipo.

Dall'altro lato, la convenienza gestionale non è l'unica riflessione che dovrebbe essere applicata alla valutazione dei risultati di uno scenario, ma altrettanto importante è l'**effetto ambientale ed ecologico** di quanto simulato. Anche in questo caso, la modellazione può essere d'aiuto: esiste a tutt'oggi la possibilità di combinare modellazione idraulica ed ecologica (tramite modelli come CASiMiR o MesoHABSIM) per valutare gli effetti di un evento sull'habitat fluviale. Anche in questo caso, la conoscenza dello stato attuale fornisce le informazioni necessarie all'applicazione dei modelli ecologici e a valutare l'effetto di un evento, la cui gravità è sito-specifica, in quanto non è connessa solo all'intensità dell'evento, ma anche alle caratteristiche dell'ecosistema su cui agisce. Occorre in quest'ambito sottolineare come gli attuali sistemi di pianificazione e di gestione partano da un'analisi dello status delle risorse ambientali spesso trascurando i processi ecosistemici e le interazioni dinamiche e di controllo dei processi ambientali stessi, in particolare le loro relazioni con i fattori economici e sociali. Risulta inoltre evidente come la pianificazione di tipo settoriale (in ambito idroelettrico e fluviale in questo caso) non è nei fatti coordinata, anche a causa della suddivisione delle responsabilità tra entità amministrative. L'individuazione dei servizi ecosistemici, intesi come quei "molteplici benefici forniti dagli ecosistemi al genere umano" (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), rappresenta quindi di fatto la base per una revisione dei termini economici con cui considerare gli ambiti fluviali e i loro capitali attraverso una strategia gestionale, anche del trasporto solido, più consapevole del significato dei processi ecologici e più orientata verso una sostenibilità concreta e durevole.

7.5 Applicazione

In questo paragrafo viene riassunto e schematizzato per step successivi il percorso tecnico che è stato seguito per lo studio dei casi studio sul fiume Rienza, presentati nel capitolo 6. Uno schema necessariamente semplifica e banalizza tutta la complessità della materia e pertanto deve essere inteso come ausilio per organizzare tutti gli approfondimenti necessari a studiare e comprendere ogni singolo caso e applicazione.

L'individuazione delle tecnologie più adatte alla gestione del sedimento nei serbatoi il più delle volte non necessita la sperimentazione di nuove tecnologie, quanto l'adattamento al caso specifico di metodologie ben note. È questo ad esempio il caso dei due serbatoi sul Fiume Rienza, studiati durante lo svolgimento di questo progetto. Sia il serbatoio di Kniepass che quello di Rio Pusteria si prestano ad essere gestiti con operazioni di sluicing, eventualmente integrate con fluitazioni saltuarie. La storia delle operazioni di gestione effettuate negli

ultimi decenni mostra al contrario che i due serbatoi sono stati gestiti rispettivamente con sole operazioni di fluitazione (Rio Pusteria) e con una sola operazione di fluitazione (Kniepass). Questo esempio è emblematico di come questo tema sia stato gestito in passato sottovalutando la necessità di approfondire la conoscenza, rimanendo legati a prassi consolidate, anche quando queste comportavano maggiori costi di gestione e minori benefici eco-morfologici. D'altronde, rinunciando a un adeguato approfondimento della conoscenza delle forzanti e delle dinamiche dei flussi di sedimenti all'interno dei serbatoi e attraverso le opere di trattenuta non è possibile progettare strategie adeguate di gestione del sedimento. Le Tabelle 7.1, 7.2 e 7.3 riassumono in forma concisa un percorso logico per la scelta delle modalità più idonee alla gestione dei sedimenti.

7.5.1 Step 1: le tecnologie applicabili

Questo percorso inizia con la Tabella 7.1, mediante la quale è possibile discriminare, in base a semplici caratteristiche geometriche dell'invaso e dei sedimenti, le tecnologie che potenzialmente sono adatte alla gestione dei sedimenti. Possono essere classificati come medio-piccoli gli invasi a regolazione settimanale. I metodi più adatti ai serbatoi grandi sono quelli che non richiedono lo svuotamento dell'invaso, che comporterebbe costi per perdita di produzione troppo elevati, ovvero sono le gallerie di bypass di tipo B e, per gli invasi allungati, lo sluicing. Al contrario, in quelli medio-piccoli, sia fluitazione (flushing), sluicing che scavo con mezzi meccanici, sono tecnologie applicabili ad un costo ragionevole.

7.5.2 Step 2: le tecnologie più adatta al contesto specifico

Dopo aver individuato le tecnologie applicabili al caso in esame, la Tabella 7.2 funge da guida per individuare la frequenza ottimale delle operazioni e i migliori abbinamenti fra le differenti tecnologie. Questa tabella evidenzia inoltre l'effetto atteso delle operazioni, ovvero evitare/minimizzare l'interrimento (gallerie di by-pass, sluicing e venting) oppure recuperare volume dell'invaso (fluitazione dragaggio, rimozione meccanica).

Il Gestore dovrebbe pianificare una strategia integrata di gestione dei sedimenti, che da un lato minimizzi l'interrimento mediante operazioni di durata ridotta, come ad esempio lo sluicing durante gli eventi di piena più intensi, dall'altro ricorra ad azioni più onerose, come ad esempio la fluitazione o il dragaggio, per recuperare il volume dell'invaso.

La necessità di una strategia integrata è dovuta alla naturale intermittenza dei fenomeni di trasporto solido negli alvei, a causa dei quali la maggior parte del volume di sedimenti in ingresso in un invaso è concentrata in occasione degli eventi di piena maggiori. In alcuni casi, quando la componente principale del trasporto solido proviene da aree glaciali ed è costituita da limo, il volume di sedimento in ingresso nell'invaso è concentrato esclusivamente nei mesi estivi. Per progettare una strategia integrata di gestione del sedimento è fondamentale approfondire la conoscenza sulla stagionalità degli apporti solidi all'invaso, ricorrendo a (i) analisi idrologiche, (ii) misure dirette di trasporto solido mediante la costruzione di una sezione di idrometrica, (iii) considerazioni sul trasporto solido da fare sulla base del confronto fra rilievi batimetrici effettuati in momenti diversi.

	Input di sedimento prevalentemente fine	Input di sedimento prevalentemente grossolano
Invaso medio-piccolo	Galleria bypass A (+++) Galleria bypass B (+++) Sluicing (+++) Venting (+++) Fluitazione (+++) Dragaggio (+++) Scavo con mezzi meccanici (+++)	Galleria bypass A (++) Galleria bypass B (++) Fluitazione (++) Sluicing (+) Scavo con mezzi meccanici (+)
Invaso grande	Galleria bypass B (+++) Sluicing (+++) ^{*(1)} Venting (++) Galleria bypass A (+) Fluitazione (+) Dragaggio (+) Scavo con mezzi meccanici (+)	Galleria bypass B (++) Sluicing (+) Fluitazione (+) Scavo con mezzi meccanici (+)
Off-channel reservoir storage	Dragaggio Scavo con mezzi meccanici	

Tabella 7.1: *Identificazione delle strategie più idonee (+++) e meno idonee (+) alla gestione del sedimento a scala di invaso a seconda della tipologia di regolazione e della tipologia di sedimento proveniente dal bacino idrografico sotteso*

⁽¹⁾ *Lo sluicing può venire applicato anche a invasi grandi nel caso presentino una geometria allungata*

Ad esempio, in un invaso di piccole dimensioni, come quello di Kniepass sulla Rienza, effettuare operazioni di sluicing in occasione delle piene con tempo di ritorno di un anno eviterebbe il deposito del sedimento trasportato nell'invaso dal fiume, con una ridottissima perdita di produzione. In questo modo il volume utile del bacino rimane quasi inalterato nel corso degli anni, così come la funzionalità degli organi di scarico.

In un invaso di dimensioni maggiori, come ad esempio quello di Rio Pusteria, la strategia di gestione potrebbe essere basata su operazioni di sluicing a scala di evento di piena, integrate con operazioni di flushing da realizzare con intervallo temporale dell'ordine di 10-20 anni. Attualmente il volume di invaso viene recuperato ogni 3-4 anni solamente con operazioni di flushing; negli ultimi anni queste sono state effettuate nel 2001, 2004, 2008, 2014 e 2019.

Il tema delle gallerie di by-pass merita un approfondimento particolare, perché queste possono diventare un'alternativa vincente specialmente quando la conformazione geometrica del serbatoio permette lo scavo di gallerie sufficientemente corte da contenere i costi (by-pass tipo B). Inoltre la gestione delle gallerie di by-pass richiede la conoscenza (mediante misure o stime) dell'entità del trasporto di sedimenti in arrivo nell'invaso, pena l'azionamento del by-pass in momenti sbagliati, con conseguente inutile perdita di produzione oppure deposito indesiderato di sedimenti nell'invaso.

La Tabella 7.2 mostra infine che non esiste una singola strategia di gestione in grado di risolvere interamente la problematica, al contrario le diverse tecnologie disponibili devono

essere integrate per ottenere il risultato voluto. Il mix corretto delle diverse tecnologie viene determinato, caso per caso, sulla base di un approfondimento sul singolo impianto e sulla cascata di impianti presenti lungo l'asta fluviale.

7.5.3 Step 3: scelta della/e tecnologia/e più adatta/e al contesto specifico

La Tabella 7.3 riporta ulteriori elementi di approfondimento che possono guidare il progettista nella scelta, specificando indicazioni relative al costo, alla semplicità e alla durata di esecuzione delle operazioni, e alla necessità di abbassare il livello dell'invaso. Inoltre si specificano anche gli effetti ecomorfologici attesi nel/nei corso/i d'acqua nei quali si osservano impatti dovuti alle operazioni.

Si ricorda ancora una volta che la qualità morfologica di un corso d'acqua è propedeutica a quella ecologica. In altre parole, il contenuto non può essere presente senza contenitore. Questo semplice concetto, trascurato per decenni in tutte le Alpi, deve guidare nella scelta delle modalità di gestione dei sedimenti che non interrompano la continuità del flusso da monte verso valle. In questa cornice appare ancora più sensato incentivare manovre frequenti, come lo sluicing in occasione di piene intense, oppure la costruzione dei gallerie di bypass, e garantire così nei corsi d'acqua la presenza di flussi di sedimento che si discostano poco dalle condizioni naturali. È altrettanto importante coordinare le operazioni di gestione su tutti gli sbarramenti presenti su un'asta fluviale, poiché non ha senso fare transitare verso valle i flussi di sedimenti per qualche decina di chilometri, se incontrano poco dopo uno sbarramento gestito con modalità differenti.

		Regolazione settimanale	Regolazione stagionale	Frequenza operazione	Abbinato a
Minimizzare interrimento	Galleria di bypass del sedimento – tipo A	+	++	Evento*	Venting, Fluitaz. in pressione, Dragaggio
	Galleria di bypass del sedimento – tipo B	+	++	Evento*	Venting, Fluitaz. in pressione, Dragaggio
	Sluicing	++	-	Evento* Stagionale	Fluitazione Dragaggio
	Venting	++	-	Evento* Stagionale	Fluitazione Dragaggio
Aumento/recupero del volume	Fluitazione	++	+	Annuale Pluriannuale	Venting sluicing Scavo mecc.
	Dragaggio	++	+	Annuale Pluriannuale	Venting Bypass Sluicing
	Scavo con mezzi meccanici	++	-	Annuale Pluriannuale	Fluitazione

Tabella 7.2: *Identificazione delle strategie più idonee (++)*, idonee(+) e non idonee (-) per la gestione del sedimento a seconda del tipo di regolazione dell'invaso (settimanale o stagionale), e indicazione della frequenza con cui si svolge una determinata operazione e delle eventuali strategie ad essa associate (le quali devono essere in linea con la Tabella 7.1)

*A scala di evento di piena e/o morbida

		Abbassamento del livello d'invaso	Costi	Operatività	Durata	Benefici ecomorfologici
Minimizzare interrimento	Galleria di bypass del sedimento – tipo A	no	€€€€€	+ ^{*(1)}	giorni	+++
	Galleria di bypass del sedimento – tipo B	sì	€€€€	+ ^{*(1)}	giorni	+++
	Sluicing	sì	€	+	giorni	+
	Venting	sì	€	-	giorni	+
Aumento/recupero del volume	Fluitazione	sì (svuotamento)	€€	++	settimane	- ^{*(2)}
	Dragaggio	no	€€	--	mesi	--
	Scavo con mezzi meccanici	sì (svuotamento)	€€	-- ^{*(3)}	settimane	-- ^{*(3)}

Tabella 7.3: Identificazione delle caratteristiche intrinseche di ogni strategia di gestione.

^{*(1)} Difficile operatività di gestione perché non sempre è conosciuto il trasporto solido

^{*(2)} può avere effetti ecomorfologici positivi (+) se effettuata frequentemente

^{*(3)} I benefici ecologici possono venire aumentati reinserendo il sedimento grossolano esportato a valle dello sbarramento

7.6 Comunicazione

Nell'ambito della redazione dello studio condotto è emerso un vacuum comunicativo ed una sostanziale carenza di strategia gestionale lungimirante e sostenibile tra tutti gli attori in gioco lungo l'asta fluviale indagata. Nonostante il crescente fiorire di approcci e soluzioni tecnologiche che si sviluppa di anno in anno, ad oggi non risultano ancora ottimizzate le operazioni di condivisione dei dati, di telecontrollo e di azione sinergica tra le parti e risulta pertanto difficoltoso concorrere ad una minimizzazione mirata degli effetti negativi sugli ambienti acquatici delle operazioni di svaso parziale e di fluitazione. Seppur con diversa magnitudo, problematiche analoghe si riscontrano sia presso i grandi poli idroelettrici della Provincia Autonoma di Bolzano che in realtà territorialmente meno estese, in cui insistono derivazioni di media e piccola taglia, che gestiscono l'interrimento delle piccole opere di presa in modo assolutamente aleatorio e non coordinato.

Le conseguenze negative di tali operazioni non sono pertanto unicamente da ascrivere alle mancanze dei produttori idroelettrici, che scontano un notevole danno di immagini e si ritrovano loro malgrado sempre sul banco degli imputati in occasione di ogni operazione di svaso o di fluitazione, ma anche ad una mancata armonizzazione delle operazioni, alla sostanziale assenza di comunicazione tra Gestori (dettata sostanzialmente dalla mancata convocazione di un Tavolo di Coordinamento a livello inter-aziendale, possibilmente con regia pubblica) e ad un coordinamento spesso non ottimale delle operazioni da parte degli Uffici provinciali competenti. Parimenti, anche l'accesso ai dati ambientali presso gli Enti pubblici risulta spesso difficoltoso, come evinto nell'ambito della redazione del presente studio all'atto della richiesta di consultazione dei Piani di Gestione dei Sedimenti depositati, nonostante questi risultino teoricamente di pubblico dominio (si rimanda ad esempio a quanto riportato in <https://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-del-sito/urp/norme>). Si innesca pertanto una spirale tendenzialmente negativa che genera un vuoto di trasparenza, che aleggia da sempre intorno alla gestione degli impianti di produzione idroelettrica, determinando di fatto un'amplificazione degli effetti negativi associati alle operazioni di gestione del materiale solido.

Pertanto, al fine di redigere un piano di gestione sostenibile della problematica legata ai sedimenti fluviali e restituire così un minimo di continuità longitudinale alle dinamiche di trasporto solido, risulta imprescindibile l'adozione di apposite strategie di comunicazione da condensare in un apposito **Piano di Comunicazione** a scala di bacino. Si ritiene opportuno infatti, non solo a scala d'impianto ma in un'ottica di area vasta, l'avvio di un percorso condiviso per arrivare a definire una strategia di comunicazione ed organizzazione valida ed applicabile a livello provinciale, capace di minimizzare gli effetti ambientali delle operazioni di svaso e fluitazione, innescare sinergie positive tra gli attori in gioco e ridurre i costi, economici e soprattutto ambientali, legati alla gestione del materiale solido in alveo. Senza una visione d'insieme, in una realtà alpina in cui i corsi d'acqua risultano spesso pesantemente sfruttati per la produzione di energia idroelettrica, si rischia infatti di intervenire risolvendo localmente e temporaneamente la situazione (scala di impianto), vanificando successivamente tali

benefici lungo un'intera asta fluviale (scala di bacino). Il proposto Piano di Comunicazione dovrebbe promuovere i seguenti obiettivi a scala di bacino idrografico:

- un efficientamento delle strategie di comunicazione ad oggi adottate, che superino logiche di deresponsabilizzazione degli attori coinvolti ed attuino politiche gestionali e comunicative trasparenti e finalizzate ad una maggiore tutela degli ambienti acquatici;
- implementazione di strategie di gestione che risultino sinergiche per tutti gli operatori che intervengono lungo le medesime aste fluviali, che permettano una non impossibile ottimizzazione degli impatti ambientali ed una maggiore efficienza gestionale (connessa a minori costi economici) delle operazioni;
- raggiungimento di obiettivi di sostenibilità e tutela dai rischi ambientali di tutte le operazioni finalizzate alla gestione del trasporto solido, siano essi svassi parziali, fluitazioni, interventi di rimozione meccanica dei sedimenti o quant'altro;
- aumento dell'autorevolezza degli Enti provinciali, delineando così modalità operative atte a far emergere la voce della funzione pubblica rispetto a quelle degli altri competitor, in modo da creare un coordinamento forte e deciso di tutte le operazioni, che dovranno quindi essere gestite da un unico Soggetto da individuarsi tra gli Uffici provinciali competenti;
- incremento della reputazione e dell'immagine dei Gestori Idroelettrici, per una maggiore accettazione sociale delle operazioni legate alla gestione del materiale solido accumulato presso i loro impianti.

Fondamentale in tale contesto risulta essere l'"ascolto" delle esigenze dei vari Stakeholder che operano lungo i corsi d'acqua, come mezzo per monitorare costantemente il raggiungimento degli obiettivi di cui sopra. In sostanza controllare e controllato dovrebbero diventare partner tra cui costruire relazioni sinergiche, facendo sì che la comunicazione diventi un elemento costitutivo di una cultura maggiormente orientata alla sostenibilità ambientale delle problematiche e delle criticità ambientali evidenziate. La redazione del Piano di Comunicazione pertanto diventa un vero e proprio processo organizzativo che attraversa e modifica l'attuale schema di gestione del sistema fluviale. Le fasi della redazione del Piano possono essere così individuate:

- identificazione di un Coordinatore forte ed autorevole, da ricercarsi in uno degli Uffici provinciali preposti al controllo ambientale;
- definizione degli obiettivi di comunicazione, con identificazione dei soggetti coinvolti ed implementazione di un network ridondante di comunicazione;
- analisi degli obiettivi strategici per il sistema fluviale oggetto di valutazione, previa ponderazione di tutti gli interessi economici ed ambientali in gioco;
- analisi degli scenari che si potrebbero instaurare in virtù di differenti operazioni di gestione del materiale solido, sulla scorta di quanto avvenuto in passato e sulla base delle evidenze dei necessari studi a corredo. Previa ponderazione degli obiettivi

strategici ed operativi di comunicazione, tale analisi dovrà essere svolta per ciascun obiettivo operativo secondo tre direttrici:

a) analisi del contesto territoriale (geografico, territoriale, fluviale, ambientale, socio-economico etc.);

b) analisi di settore (posizionamento e peso sul mercato idroelettrico del polo di produzione);

c) analisi del contesto organizzativo (caratteristiche distintive dell'organizzazione del singolo Gestore unitamente alla disponibilità ed all'accessibilità di tutte le infrastrutture necessarie);

- individuazione delle azioni di monitoraggio necessarie, delle strumentazioni di controllo più opportune e delle operazioni di gestione (tra quelle analizzate nel presente documento) che maggiormente si confanno sia alle esigenze dei Gestori idroelettrici che agli equilibri ecologici, morfologici ed ambientali dei corsi d'acqua;
- armonizzazione delle linee e delle tempistiche di comunicazione (con definizione di soglie temporali di preavviso, preparazione, allerta, reazione etc.) ed indicazione delle operazioni necessarie al fine di costruire un network gestionale ed operativo condiviso tra i Gestori degli impianti presenti in cascata lungo un'asta fluviale.

Emerge quindi ancora una volta la necessità di un'azione sito-specifica, estesa al bacino imbrifero di riferimento, tarata sulle reali esigenze degli ambienti e degli attori che lo popolano, da costruirsi tramite opportuno tavolo di concertazione, le cui sedute dovrebbero avvenire quantomeno a cadenza annuale. I contenuti e gli obiettivi del Piano di Comunicazione dovranno essere valutati, negoziati ed approvati dai singoli attori coinvolti nel corso di tali incontri. Le azioni individuate dovranno essere vincolanti per i Gestori idroelettrici e dovranno essere integrate in tutti gli atti concessori e programmatici.

Bibliografia

- Abgottspon A.; Felix D.; Boes R.; Staubli T. (2016). Schwebstoffe, hydro-abrasive Verschleiss und Wirkungsgradmessungen an Pelton-turbinen. Wasser Energie Luft.
- Aigner J.; Kreisler A.; Habersack H.; Comiti F.; Cavalli M.; Marchi L.; Arattano M.; Piegay H. (2013). First SedAlp Milestone: protocol for data collection methods in sediment transport. Relazione tecnica, SEDALP, Sediment management in Alpine basins.
- Auel C. (2014). Flow characteristics, sediment motion and invert abrasion in sediment bypass tunnels.
- Auel C. (2018). Sediment bypassing - a sustainable and eco-friendly strategy against reservoir sedimentation. 26th International Congress on Large Dams, 2018.
- Auel C.; Boes R. (2010). Sediment Management in the Solis Reservoir Using a Bypass. pp. 438–443. 8th ICOLD European Club Symposium.
- Auel C.; Kantoush S.; Sumi T. (2016). Positive effects of reservoir sedimentation management on reservoir life - examples from Japan. 84th ICOLD Annual Meeting.
- Bakker M.; Gimbert F.; Geay T.; Misset C.; Zanker S.; Recking A. (2020). Field application and validation of a seismic bedload transport model. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, **125**(5), e2019JF005416. e2019JF005416 2019JF005416.
- Barrière J.; Oth A.; Hostache R.; Krein A. (2015). Bed load transport monitoring using seismic observations in a low-gradient rural gravel bed stream. Geophysical Research Letters, **42**(7), 2294–2301.
- Bittner P. (2020). Turbinenabnutzung bei abrasiven Gewässern – Optimierung des Turbinenbetriebs am Fallbeispiel des KW Saldur. In 3. INTERALPINE ENERGIE- & UMWELTTAGE, Sediment-Management - Ein Thema für Generationen.
- Bizzini F.; Caruana R.; DeVita P.; Fanelli G.; Gallerano F.; Gambino C.; Granata T.; LaBarbera G.; Marchitelli M.; Passeri V.; Tiddia D. (2010). Il problema dell'interrimento dei serbatoi italiani. Relazione Tecnica Roma, 28 ottobre 2010, ITCOLD.
- Coviello V.; Capra L.; Vázquez R.; Márquez-Ramírez V. H. (2018). Seismic characterization of hyperconcentrated flows in a volcanic environment. Earth Surface Processes and Landforms, **43**(10), 2219–2231.

- Coviello V.; Vignoli G.; Simoni S.; Engel M.; Scorpio V.; Bertoldi W.; Nadalet R.; Dinale R.; Comiti F. (2019). Bedload transport measurements with impact-plate geophones in a glacier-fed alpine river. Geophysical Research Abstracts.
- Dell'Agnese A.; Mao L.; Comiti F. (2014). Calibration of an acoustic pipe sensor through bedload traps in a glacierized basin. CATENA, **121**, 222–231.
- Detering M.; Jokiel C. (2017). Wie lösen wir das langfristig größte Problem an Stauseen wirtschaftlich und umweltverträglich? v, (1/2017).
- Di Silvio G.; Guarino L.; Nones M. (2008). Modello per l'analisi del bilancio di sedimenti a scala di bacino nel fiume adige. XXXI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- Direttiva 2000/60/CE (2000). Direttiva Quadro Acque. (7), 1–5.
- Engelund F.; Hansen E. (1972). Monograph on sediment transport in alluvial streams. Teknisk Forlag, Copenhagen.
- Facchini M.; Mart E.; Fink S.; Vetsch D.; Siviglia A.; Boes R. (2017). 6 Gallerie di bypass dei sedimenti e piene artificiali. pp. 1–8.
- Felix D.; Albayrak I.; Abgottspon A.; Boes R. (2016). Real-time measurements of suspended sediment concentration and particle size using five techniques. 28th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems.
- Folegot S.; Bruno M.; Larsen S.; Kaffas K.; Pisaturo G.; Andreoli A.; Comiti F.; Righetti M. (2020). The effects of a sediment flushing on Alpine macroinvertebrate communities. Under revision in Hydrobiologia.
- Haubner E. (2002). Il Label dell'energia idroelettrica ovvero una certificazione ecologica per gli impianti idroelettrici.
- Hunziker R. (1995). Fraktionsweiser Geschiebetransport. Tesi di Dottorato di Ricerca, Versuchsanst. f. Wasserbau der ETH Zuerich (VAW), Zuerich, Switzerland.
- ITCOLD (2009). La gestione dell'interrimento dei serbatoi artificiali italiani.
- ITCOLD (2012). La gestione dell'interrimento dei serbatoi artificiali italiani. Situazione attuale e prospettive.
- Kantoush S.; Sumi T.; Murasaki M. (2011). Evaluation of sediment bypass efficiency by flow field and sediment concentration monitoring techniques. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), (4), 169–174.
- Kantoush S. A.; Sumi T. (2010). River morphology and sediment management strategies for sustainable reservoir in Japan and european Alps. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., (53 B), 821–839.

- Kondolf G. M.; Gao Y.; Annandale G. W.; Morris G. L.; Jiang E.; Zhang J.; Cao Y.; Carling P.; Fu K.; Guo Q.; Hotchkiss R.; Peteuil C.; Sumi T.; Wang H.-W.; Wang Z.; Wei Z.; Wu B.; Wu C.; Yang C. T. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. Earth's Future, (5), 256–280.
- Mancini M.; Zampetti G. (2015). Spiagge indifese.
- Mao L.; Carrillo R.; Escauriaza C.; Iroumé A. (2016). Flume and field-based calibration of surrogate sensors for monitoring bedload transport. Geomorphology, **253**, 10–21.
- Marziali L.; Guzzella L.; Tartari G.; Valsecchi L.; Genoni P.; Lorenzi E.; Bravi C. (2017). Protocollo per la valutazione della tossicità dei sedimenti degli invasi in Regione Lombardia ai fini della fluitazione. Biologia Ambientale, (31), 219–225.
- MATTM-Regioni (2018). Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici. erosione 2018. Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA. p. 305.
- Meyer-Peter E.; Müller R. (1948). Formulas for bed load transport. In 2nd Meeting, Int. Assoc. for Hydroaul. Environ. Eng. and Res., Madrid.
- Mizuyama T.; Hirasawa R.; Kosugi K.; Tsutsumi D.; Nonaka M. (2011). Sediment monitoring with a hydrophone in mountain torrents. International Journal of Erosion Control Engineering, **4**, 43–47.
- Negri P.; Cadrobbi G.; Costaraoss S.; Dallafior V.; Paoli F.; Grazzi R.; Manauni C.; Patti G.; Paolazzi M.; Toldo L. (2012). Analisi dell'impatto dello svaso del bacino di Pezzé. Relazione tecnica, Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente - Provincia autonoma di Trento.
- Newcombe C. P.; Jensen J. O. (1996). Channel suspended sediment and fisheries: A synthesis for quantitative assessment of risk and impact. North American Journal of Fisheries Management, (4, November), 693–727.
- Pisaturo G.; Righetti M.; Gabl R.; Zanforlin F. (2018). Sediment entrapment into surge tanks: an experimental study.
- Rickenmann D. (2017). Bedload Transport Measurements with Geophones, Hydrophones, and Underwater Microphones (Passive Acoustic Methods), pp. 185–208. Gravel Bed Rivers and Desaster, John Wiley Sons Ltd.
- Rickenmann D.; Turowski J.; Fritschi B.; Wyss C. R.; Laronne J.; Barzilai R.; Reid I.; Kreisler J.; Aigner J.; Seitz H.; Habersack H. (2014). Bedload transport measurements with impact plate geophones: comparison of sensor calibration in different gravel-bed streams. Earth Surface Processes and Landforms, **39**, 928–942.

- Rofes G.; Trocherie F.; Garat O.; Vallon M. (1991). Caractérisation des sédiments des retenues pour la prévision des risquesécotoxicologiques liés aux vidanges. Journal of Water Science, **4**(1), 65–82.
- Roth D. L.; Brodsky E. E.; Finnegan N. J.; Rickenmann D.; Turowski J. M.; Badoux A. (2016). Bed load sediment transport inferred from seismic signals near a river. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, **121**(4), 725–747.
- Rousselot P.; Vetsch D.; Fäh R. (2012). Modellazione numerica dei corsi d'acqua. UFAM.
- Società-Idroelettrica-dell'Isarco (1931). Derivazione dall'Isarco fra Ponte all'Isarco e Cardano. Relazione Tecnica IDN: 134173, Società Idroelettrica dell'Isarco - Biblioteca Provinciale Tessman.
- Spreafico M.; Lehmann C.; Jakob A.; Grasso A. (2005). Feststoffbeobachtung in der Schweiz. Relazione tecnica, BAFU, Berichte des BWG, Serie Wasser.
- Sumi T.; Okano M.; Yasufumi T. (2004). Reservoir sedimentation management with bypass tunnels in Japan. Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation October 18 – 21, 2004, Yichang, China, (August), 1036–1043.
- Thanei U. (2019). Numerische Modellierung von Verlandungsprozessen und Spülvorgängen in der Staustufe "Kniepass" an der Rienz. Tesi per Master, Innsbruck.
- Vangelista M. (2011). Applicazione dell'indice di qualità morfologica a due tratti del fiume Adige.
- Wyss C. R.; Rickenmann D.; Fritschi B.; Turowski J.; Weitbrecht V.; Boes R. (2016a). Laboratory flume experiments with the Swiss plate geophone bedload monitoring system. part i: Impulse counts and particle size identification: Flume experiments with the Swiss plate geophone: Methodology. Water Resources Research.
- Wyss C. R.; Rickenmann D.; Fritschi B.; Turowski J.; Weitbrecht V.; Travaglini E.; Bardou E.; Boes R. (2016b). Laboratory flume experiments with the Swiss plate geophone bedload monitoring system. part ii: Application to field sites with direct bedload samples. Water Resources Research, **52**.
- ZAMG; ARPA-Veneto; IGF (2015). Il clima del Tirolo - Alto Adige - Bellunese. Interreg IV - 3pclim.