

INDICE

<i>Premessa</i>	pag.	13
-----------------------	------	----

1. Le risorse naturali di acqua dolce e le potenzialità di uno sfruttamento sostenibile

1.1. La disponibilità di acqua dolce per gli abitanti della terra	»	15
1.2. Le disponibilità di risorse di acqua dolce rinnovabile	»	17
1.2.1. Le disponibilità di risorse di acqua dolce rinnovabili nel mondo	»	19
1.2.2. Le disponibilità di risorse di acqua dolce rinnovabile in Europa	»	23
1.2.3. Le disponibilità di risorse rinnovabili di acqua dolce in Italia	»	24
1.2.4. I serbatoi artificiali e la capacità di accumulo e regolazione in Italia	»	27
1.3. I principali usi e consumi di acqua dolce	»	28
1.3.1. Prelievi e utilizzi di acqua dolce in Italia	»	34
1.4. Il problema della carenza idrica	»	36
1.5. Possibili soluzioni al problema della carenza idrica	»	39
1.6. L'acqua dolce: una risorsa esauribile o rinnovabile?	»	40
1.7. L'indice di sostenibilità delle acque sotterranee e di quelle superficiali	»	44
1.8. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti	»	52
1.9. Riferimenti bibliografici	»	53

2. Popolazione e risorse di acqua dolce: uno stretto legame e un delicato equilibrio

2.1. La crescita delle popolazioni umane	»	55
2.2. I livelli di carenza idrica in funzione della popolazione e delle risorse disponibili	»	58
2.3. Il problema dell'urbanizzazione	»	62
2.4. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti	»	64
2.5. Riferimenti bibliografici	»	65

3. Lo sfruttamento sostenibile delle acque superficiali dei corsi d'acqua

3.1. La necessità di sistemi di accumulo e regolazione	»	67
3.2. La variabilità dei deflussi nei corsi d'acqua	»	67
3.3. I cambiamenti climatici e la necessità di maggiori capacità di accumulo e regolazione	»	71
3.3.1. Cenni introduttivi	»	71
3.3.2. Gli scenari più probabili	»	72
3.3.2.1. I gas ad effetto serra	»	72
3.3.2.2. Altri punti di vista sulle cause dell'effetto serra	»	76
3.3.3. Le incertezze intrinsecamente connesse alle previsioni degli scenari più probabili	»	77
3.3.4. Le variabili principali da considerare per l'affidabilità degli approvvigionamenti e delle forniture di acqua dolce	»	78
3.3.4.1. Il volume di deflusso medio annuo	»	79

3.3.4.2. Le variabilità dei regimi idrologici dei deflussi	»	80
3.3.4.3. La sensibilità dell'affidabilità dei sistemi di approvvigionamento idrico alle variabilità dei regimi idrologici dei deflussi.....	»	82
3.4. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti.....	»	84
3.5. Riferimenti bibliografici	»	84
4. I principi dello sviluppo sostenibile nei criteri di progetto e nella gestione dei serbatoi artificiali		
4.1. I fondamenti concettuali della sostenibilità dello sfruttamento delle risorse naturali	»	87
4.1.1. La definizione operativa della sostenibilità dello sfruttamento delle risorse naturali	»	90
4.2. Criteri economici di valutazione dei progetti – criteri di progetto – vincoli ambientali.....	»	92
4.2.1. Gli strumenti operativi per lo sviluppo di progetti sostenibili.....	»	92
4.2.1.1. I criteri economici di valutazione dei progetti delle dighe e dei serbatoi artificiali.....	»	93
4.2.1.2. I limiti degli attuali criteri di valutazione economica dei progetti degli invasi artificiali	»	95
4.2.1.3. I moderni criteri di contabilizzazione del valore economico della capacità utile di un serbatoio	»	100
4.2.2. I criteri di scelta delle soluzioni ingegneristiche nella redazione dei progetti delle dighe e dei serbatoi artificiali.....	»	107
4.2.2.1. I limiti dei criteri di progetto utilizzati nel passato e attualmente ancora in uso.....	»	108
4.2.2.2. I moderni criteri di progetto: la gestione del ciclo di vita (Life Cycle Management Approach).....	»	112
4.2.3. Il rispetto di vincoli ambientali per la minimizzazione degli impatti.	»	115
4.3. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti.....	»	116
4.4. Riferimenti bibliografici	»	118
5. Le molteplici funzioni dei serbatoi artificiali e le diverse tipologie di utilizzo		
5.1. L'utilizzo dei serbatoi artificiali nei diversi settori produttivi	»	119
5.1.1. Serbatoi per utilizzazioni idroelettriche.....	»	120
5.1.1.1. Cenni sul dimensionamento della massima potenza installata di un impianto idroelettrico	»	122
5.1.1.2. L'origine dell'energia idraulica.....	»	125
5.1.1.3. La producibilità degli impianti idroelettrici.....	»	127
5.1.1.4. L'ubicazione e l'altezza dell'opera di sbarramento per massimizzare la producibilità.....	»	127
5.1.2. Serbatoi per utilizzazioni irrigue	»	132
5.1.2.1. La scelta dell'ubicazione plano-altimetrica del serbatoio per utilizzi irrigui.....	»	132
5.1.2.2. Piccoli invasi ad uso irriguo: criteri di dimensionamento....	»	133
5.2. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti.....	»	135
5.3. Riferimenti bibliografici	»	136

6. Problematiche ambientali e vincoli da rispettare nella progettazione e gestione dei serbatoi artificiali	
6.1. I problemi di natura ambientale indotti dai serbatoi artificiali.....	» 137
6.1.1. L'interruzione del passaggio dei pesci.....	» 138
6.1.2. L'interruzione del trasporto solido e le modifiche geomorfologiche .	» 139
6.1.3. Le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche delle acque di invaso	» 141
6.1.4. Il regime idrologico dell'asta fluviale a valle dello sbarramento	» 144
6.1.5. Lo spostamento e il ricollocamento di insediamenti umani	» 147
6.1.6. Interazione tra ecosistemi fluviali e trasporto solido fluviale	» 147
6.1.6.1. Gli effetti di elevate concentrazioni di solidi sospesi sugli ecosistemi fluviali.....	» 147
6.1.6.2. Valori delle concentrazioni dei solidi sospesi provenienti da operazioni di spurgo compatibili con le caratteristiche degli ecosistemi.....	» 149
6.2. Problemi di natura ambientale indotti da cause esterne sulle acque degli invasi	» 152
6.2.1. Lo sviluppo di alghe tossiche nelle acque dei serbatoi artificiali.....	» 152
6.2.2. Le cause della generazione dei fenomeni delle fioriture algali	» 153
6.2.3. Effetti delle sostanze prodotte dalle alghe tossiche.....	» 154
6.2.4. Buone pratiche e procedure da adottare in caso di fenomeni di fioriture algali tossiche	» 156
6.2.5. Provvedimenti per contrastare il trasporto di nutrienti e del materiale eroso dai suoli per la mitigazione delle fioriture algali	» 157
6.3. L'occlusione degli scarichi profondi e delle opere di presa e interrimento dei dispositivi di dissipazione e restituzione in alveo	» 158
6.4. Il deflusso minimo vitale	» 159
6.4.1. Criteri generali.....	» 159
6.4.1.1. Portate derivabili per usi antropici	» 161
6.4.2. Metodi per la stima del deflusso minimo vitale	» 162
6.4.2.1. Metodi regionali	» 163
6.4.2.2. Metodi sperimentali	» 165
6.4.3. Analisi della normativa vigente in Italia e delle metodologie utilizzate per la stima del DMV.....	» 166
6.5. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti.....	» 172
6.6. Riferimenti bibliografici	» 172
7. Criteri e metodi di dimensionamento della capacità utile	
7.1. Le prestazioni attese da un serbatoio artificiale	» 177
7.1.1. L'affidabilità temporale di funzionamento di un serbatoio	» 179
7.2. Criteri e metodi di progetto dei serbatoi artificiali.....	» 180
7.3. Criteri e metodi per il dimensionamento della capacità utile dei serbatoi artificiali.....	» 181
7.3.1. Metodo deterministico grafico della curva di massa (mass curve procedure).....	» 182
7.3.1.1. Esempio di dimensionamento di un serbatoio per utilizzo irrigua.....	» 186
7.3.1.2. Esempio di dimensionamento di un serbatoio per uso industriale.....	» 187

7.3.2. Metodo della simulazione numerica.....	»	188
7.3.3. Metodi statistici-probabilistici.....	»	192
7.3.3.1. Metodo di Dincer	»	193
7.3.3.2. Metodo di Gould-Dincer	»	196
7.4. Le possibili leggi di erogazione	»	196
7.5. Il potere moderatore dei serbatoi	»	197
7.6. Il dimensionamento delle opere di scarico superficiali dei serbatoi	»	201
7.7. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti	»	205
7.8. Riferimenti bibliografici	»	205

8. Erosione trasporto solido e sedimentazione: le minacce alla capacità utile dei serbatoi

8.1. Interrimento e perdita di capacità utile dei serbatoi artificiali	»	207
8.2. Origine e formazione dei sedimenti	»	208
8.3. Processi di erosione nei bacini imbriferi dei serbatoi artificiali.....	»	210
8.3.1. Aspetti e valutazioni di carattere generale.....	»	210
8.3.2. Le diverse tipologie di erosione idrica	»	212
8.3.3. Fenomeni di dissesto idrogeologico	»	216
8.3.3.1. Bacini imbriferi con erosione idrometeorica diffusa.....	»	216
8.3.3.1.1. Caso rappresentativo – Il serbatoio di Quarto.....	»	218
8.3.3.1.2. Bacini imbriferi con presenza di fenomeni franosi.....	»	219
8.3.3.2.1. Caso rappresentativo – Il serbatoio di Comunelli	»	220
8.4. I metodi per la stima dell’apporto solido (sediment yield).....	»	222
8.4.1. Modelli empirici a scala di versante: USLE (Universal Soil Loss Equation)	»	222
8.4.2. Modelli a scala di bacino idrografico	»	224
8.4.2.1. Il modello PSIAC.....	»	224
8.4.2.2. Il modello di Gavrilovic	»	225
8.4.2.3. I modelli geomorfologici quantitativi	»	227
8.4.2.4. I principali parametri geomorfologici quantitativi.....	»	228
8.4.2.5. Legami funzionali tra trasporto torbido e parametri morfometrici.....	»	232
8.5. Il trasporto solido nei corsi d’acqua e l’interferenza con i serbatoi artificiali	»	238
8.6. Conclusioni e sintesi dei principali argomenti	»	240
8.7. Riferimenti bibliografici	»	240

9. Lo studio del moto delle correnti idriche a superficie libera

9.1. Cenni introduttivi	»	245
9.2. La struttura del campo delle velocità medie temporali locali in una corrente a superficie libera.....	»	246
9.3. Il regime laminare o turbolento delle correnti a superficie libera.....	»	246
9.4. Gli effetti della viscosità nelle correnti idriche.....	»	248
9.5. Gli effetti della turbolenza nelle correnti a superficie libera	»	251
9.6. Le scale spaziali e temporali della turbolenza	»	255
9.7. Il profilo delle tensioni tangenziali in una corrente turbolenta a superficie libera.....	»	258

9.8. Il profilo delle velocità in una corrente piana a superficie libera in regime laminare	»	260
9.9. Grandezze, parametri adimensionali e scale caratteristiche per lo studio dei profili delle velocità medie temporali	»	263
9.10. Correnti a contatto di pareti solide: lo strato limite	»	267
9.11. Parete di fondo dinamicamente liscia o scabra	»	270
9.12. La regione interna dello strato limite turbolento nel caso di parete dinamicamente liscia (Prandtl, 1925)	»	273
9.12.1. Il substrato viscoso	»	273
9.12.2. Lo strato di transizione (buffer layer).....	»	274
9.13. La regione esterna dello strato limite (von Karman 1930)	»	275
9.13.1. Lo strato turbolento esterno (turbulent outer layer)	»	275
9.14. La zona di sovrapposizione (overlap layer)	»	276
9.15. Lo spessore del substrato viscoso su parete dinamicamente liscia	»	276
9.16. La struttura dello strato limite turbolento di una corrente a pelo libero su parete dinamicamente liscia	»	279
9.17. I profili della velocità media locale su parete dinamicamente liscia	»	280
9.17.1. La regione interna dello strato limite: la legge universale di parete... ..	»	280
9.17.1.1. Il substrato viscoso	»	280
9.17.1.2. Lo strato di transizione (buffer layer)	»	282
9.17.2. La regione esterna dello strato limite (von Karman, 1930): la legge del difetto di velocità	»	283
9.17.3. La zona di sovrapposizione (overlap layer): la legge logaritmica.....	»	284
9.18. I profili della velocità media locale su parete dinamicamente scabra.....	»	290
9.19. Gli effetti delle dimensioni e della spaziatura degli elementi di scabrezza sulle caratteristiche del moto della corrente.....	»	299
9.20. Riferimenti bibliografici	»	305
 10. Il trasporto solido nei corsi d'acqua		
10.1. Cenni introduttivi	»	315
10.2. Le forze agenti sulle particelle solide immerse sul fondo di una corrente idrica	»	317
10.2.1. Forza peso G	»	317
10.2.2. Forza di galleggiamento A (spinta di Archimede).....	»	318
10.2.3. Peso immerso (alleggerito) della particella	»	319
10.2.4. Forza di portanza fluidodinamica P	»	319
10.2.5. Forza d'attrito A_t	»	319
10.2.6. Resistenza/spinta idrodinamica R	»	320
10.3. Velocità di sedimentazione di una particella sferica in una massa di acqua in quiete.....	»	321
10.4. Le condizioni di moto incipiente delle particelle di fondo	»	323
10.4.1. Modelli concettuali semplificati del moto incipiente	»	323
10.4.2. Approccio basato sugli sforzi tangenziali: la teoria di Shields del moto incipiente	»	325
10.4.2.1. Osservazioni e commenti all'abaco di Shields.....	»	329
10.4.3. Approccio al moto incipiente basato sulla velocità della corrente.....	»	332
10.4.3.1. Il criterio di Hjulstrom (1935).....	»	332
10.4.3.2. Il criterio di Yang (1973).....	»	332

10.4.4. L'analisi dimensionale nello studio del moto incipiente	»	338
10.5. Riferimenti bibliografici	»	344

11. Il deposito e l'accumulo dei sedimenti nei serbatoi artificiali

11.1. Descrizione fenomenologica del processo di sedimentazione in un serbatoio artificiale	»	353
11.2. I metodi per la stima della forma dei depositi dei sedimenti in un serbatoio ..	»	357
11.2.1. I metodi per la stima della pendenza del tratto di topset di un deposito delta.....	»	357
11.2.2. La stima della distribuzione spaziale dei sedimenti	»	359
11.3. Correnti di densità o torbidità	»	360
11.4. Erosione delle sponde dei serbatoi artificiali	»	360
11.5. Riferimenti bibliografici	»	362

12. I metodi per la stima del grado di interrimento di un serbatoio artificiale

12.1. Cenni introduttivi	»	365
12.2. Metodo del bilancio di massa dei sedimenti entranti e uscenti dal serbatoio ...	»	366
12.3. Metodo della misura in sito dei tempi di svuotamento	»	367
12.4. Rilievo diretto degli spessori dei materiali sedimentati sul fondo dei serbatoi	»	367
12.4.1. Rilievo puntuale per sezioni degli spessori di sedimento.....	»	367
12.4.2. Rilievo areale degli spessori dei sedimenti	»	369
12.4.2.1. Rilievo con ecoscandaglio sub-bottom profiler a serbatoio invasato	»	369
12.4.2.2. LiDAR batimetrico (Light Detention and Ranging)	»	372
12.4.2.3. LiDAR su piattaforma aerea	»	372
12.5. Stima indiretta del volume di materiale sedimentato per differenza di capacità d'invaso.....	»	374
12.5.1. Rilievo in sito del volume di invasato con serbatoio totalmente o parzialmente invasato	»	374
12.5.1.1. Rilievo batimetrico con ecoscandaglio sincronizzato con un sistema GPS differenziale	»	374
12.5.2. Rilievo in sito del volume di invasato con serbatoio completamente svasato	»	377
12.5.3. I metodi di telerilevamento da piattaforma satellitare o aerea	»	378
12.5.3.1. Immagini telerilevate da satellite	»	379
12.5.3.2. Immagini aeree e metodi fotogrammetrici	»	380
12.6. Interrimento e ostruzione degli imbocchi delle opere di scarico e di derivazione	»	381
12.7. Gli errori di misura e l'incertezza sulla stima del volume di invasato.....	»	383
12.8. Riferimenti bibliografici	»	383

13. Il grado di interrimento dei serbatoi: realtà italiana e confronto con la situazione internazionale

13.1. Stima del grado di interrimento dei serbatoi in Italia.....	»	389
13.2. Confronto con la realtà internazionale.....	»	393
13.3. Riferimenti bibliografici	»	395

14. Il quadro normativo italiano ed europeo per la gestione dei sedimenti nei serbatoi artificiali

14.1. Evoluzione storica della normativa sulla gestione dei sedimenti	»	397
14.1.1. La nozione di scarico.....	»	397
14.1.2. Cronologia delle principali normative.....	»	398
14.1.2.1. La Legge 319/76 (Legge Merli)	»	398
14.1.2.2. Il Decreto Legislativo 152/1999.....	»	400
14.2. La normativa vigente	»	402
14.2.1. Decreto Legislativo 152/2006	»	402
14.2.2. Decreto Ministeriale 30 giugno 2004.....	»	403
14.2.2.1. I criteri per la compilazione dei progetti di gestione degli invasi	»	403
14.3. Linee guida per la redazione dei progetti di gestione	»	405
14.3.1. ISPRA 2010 – bozza non ufficiale	»	405
14.3.2. Regione Lombardia	»	406
14.4. La gestione dei sedimenti negli altri paesi europei	»	408
14.5. Criticità nell'applicazione pratica della normativa vigente	»	409
14.5.1. Considerazioni sulle responsabilità	»	412
14.6. Riferimenti normativi.....	»	413

15. Preservare la capacità utile con una gestione ottimale e sostenibile dei sedimenti

15.1. Criteri e metodi	»	417
15.2. Classifica dei serbatoi ai fini della gestione ottimale dell'interrimento.....	»	418
15.3. La pulizia e l'efficienza degli organi di scarico profondi	»	423
15.3.1. Spurghi e cacciate idrauliche.....	»	423
15.4. Le tecniche per il recupero e il mantenimento della capacità utile.....	»	424
15.4.1. Le tecniche di tipo passivo: la rimozione dei sedimenti accumulati ..	»	424
15.4.1.1. La fluitazione (flushing).....	»	424
15.4.1.1.1. I criteri per la fattibilità e la sostenibilità degli interventi	»	425
15.4.1.1.2. I principali vincoli per l'esecuzione di efficaci operazioni di fluitazione.....	»	425
15.4.1.1.3. I risultati delle esperienze internazionali sulla fattibilità delle operazioni di fluitazione	»	430
15.4.1.1.4. Vantaggi e svantaggi	»	436
15.4.1.2. La rimozione dei sedimenti con mezzi meccanici	»	436
15.4.1.2.1. Asportazione dei sedimenti con mezzi meccanici a serbatoio vuoto	»	437
15.4.1.2.2. Asportazione dei sedimenti con sistemi di dragaggio a serbatoio invasato	»	440
15.4.1.2.2.1. Draghe meccaniche	»	440
15.4.1.2.2.2. Draghe idrauliche	»	442
15.4.2. Cenni sulle tecniche preventive di tipo attivo	»	445
15.4.2.1. Intercettazione e stabilizzazione dei sedimenti a monte dell'invaso	»	445
15.4.2.2. Il transito e il rilascio a valle dei sedimenti in ingresso al serbatoio	»	447

15.4.2.2.1. Il transito e l'evacuazione delle correnti di piena (sluicing)	»	447
15.4.2.2.2. Il transito e lo scarico delle correnti di densità associate agli eventi di piena (venting)	»	449
15.5. Riferimenti bibliografici	»	450
16. Evoluzione storica della costruzione delle dighe e dei serbatoi artificiali in Italia		
16.1. Il contesto di riferimento per l'avvio della realizzazione dei serbatoi artificiali in Italia	»	457
16.2. La storia dei serbatoi artificiali in Italia	»	458
16.2.1. Il periodo dal 1830 al 1920	»	459
16.2.2. Il periodo dal 1920 al 1949	»	461
16.2.3. Il periodo dal 1950 al 1960	»	463
16.2.4. Il periodo dal 1961 al 1980	»	466
16.2.5. Il periodo dal 1981 al 1999	»	467
16.2.6. Dal 2000 ad oggi	»	468
16.3. Panoramica dell'attuale parco dighe in Italia	»	469
16.4. Riferimenti bibliografici	»	474
APPENDICE 1 – Definizioni operative	»	477
APPENDICE 2 – I fondamenti concettuali e teorici dei modelli di turbolenza delle correnti a pelo libero	»	491