



ITCOLD – COMITATO NAZIONALE ITALIANO GRANDI DIGHE

6° Edizione “Bando Premio Tesi di Laurea”

PROGETTO DI TESI

UNIVERSITÀ: Politecnico di Milano

TITOLO: Valutazione dell’apporto di sedimenti alle dighe italiane

AUTORI: Chiara Biagini, Gianluca Granata

DURATA: Settembre 2019 – Aprile 2020



INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Introduzione.....	1
1.2 Stato dell'arte	3
2. IL PROBLEMA DELLA SEDIMENTAZIONE	7
2.1 Il fenomeno della sedimentazione negli invasi artificiali	7
2.2 I problemi e gli effetti legati alla sedimentazione	10
2.2.1 Gli effetti della sedimentazione a monte della diga.....	12
2.2.2 Gli effetti della sedimentazione a valle della diga	17
3. GESTIONE DEI SEDIMENTI NEGLI INVASI ARTIFICIALI	21
3.1 Il concetto di gestione	21
3.2 Tecniche di gestione dei sedimenti.....	23
3.2.1 Metodi di riduzione del trasporto solido da monte.....	24
3.2.2 Intercettazione del trasporto solido da monte	28
3.2.3 Metodi per ridistribuire o rimuovere i depositi	33
3.2.4 Strategie adattative	42
4. VALUTAZIONE DELLO STATO DI INTERRIMENTO IN 50 DIGHE ITALIANE	45
4.1 Definizioni operative per lo studio dell'interrimento dei serbatoi	45
4.1.1 Volume di interrimento	45
4.1.2 Grado di interrimento percentuale.....	47
4.1.3 Tasso percentuale medio annuo	47
4.1.4 Apporto di sedimenti medio annuo.....	47
4.1.5 Esempio applicativo della procedura di calcolo per un serbatoio	48
4.1.6 Risultati.....	50
4.2 Inquadramento generale dello stato di interrimento nei serbatoi	51
5. APPLICAZIONE DEL MODELLO RUSLE PER IL CALCOLO DELLA PERDITA DI SUOLO ...	67
5.1 Introduzione ai modelli di erosione e trasporto solido.....	67
5.1.1 Modelli empirici.....	69
5.1.2 Modelli concettuali.....	71
5.1.3 Modelli fisicamente basati	74

5.1.4 Modelli ibridi.....	79
5.2 Il modello RUSLE	81
5.2.1 Introduzione teorica al modello	81
5.2.2 Integrazione in Sistemi Informativi Geografici (GIS)	87
5.2.3 Descrizione del “dataset”	88
5.2.4 Implementazione in ambiente GIS	100
5.2.5 Mappa di erosione per l'Italia e perdita di suolo media annua per i bacini	104
5.2.6 Vantaggi e svantaggi del modello RUSLE	105
6. IL SEDIMENT DELIVERY RATIO (SDR)	108
6.1 Introduzione teorica al Sediment Delivery Ratio.....	108
6.2 I fattori che influenzano il Sediment Delivery Ratio.....	109
6.3 Le equazioni empiriche e gli altri modelli	111
7. IL MODELLO DI STIMA DEL SEDIMENT DELIVERY RATIO	118
7.1 Materiali e metodi	118
7.1.1 Definizione del campione di dati osservati	118
7.1.2 Parametri di caratterizzazione dei bacini	122
7.1.3 Analisi di regressione statistica	123
7.1.4 Calibrazione e validazione	130
7.2 Risultati	131
7.2.1 “Fitting” del modello: calibrazione con le variabili selezionate e validazione	131
7.2.2 Procedura Jackknife	139
7.3 Discussione dei risultati	143
8. CONCLUSIONI	147
9. BIBLIOGRAFIA.....	149

SCOPO E SINTESI SULL’EVOLUZIONE DEL LAVORO

Tanto maggiore è la rilevanza di natura globale del fenomeno dell’interrimento degli invasi artificiali, quanto più necessaria sarà la sua gestione. L’obiettivo di questa tesi è quello di valutare l’apporto solido alle dighe italiane, che fornisce, sebbene attraverso approssimazioni, una misura del fenomeno della sedimentazione nelle stesse. Dall’acquisizione di dati relativi a 50 dighe italiane, è stato possibile ricavare una misura del volume di interrimento, utile per definire la quantità di

apporto di sedimenti medio annuo osservato in ingresso alle dighe. I dati raccolti, tuttavia, non erano sufficienti per operare una modellazione dell'apporto solido alle dighe analizzate tramite l'impiego di modelli già esistenti. Tramite l'applicazione quindi, della Revised Universal Soil Loss Equation (modello RUSLE), è stata ricavata una stima della perdita di suolo media annua sull'area dei bacini considerati. Dopo la definizione del dataset di osservazioni di Sediment Delivery Ratio (SDR), si è applicata un'analisi di regressione multilineare partendo da un set di 13 variabili esplicative scelte per caratterizzare i bacini esaminati. Più specificamente, l'analisi è stata condotta in parallelo su due differenti campioni di SDR, uno rappresentativo dei bacini collocati nell'area geografica caratterizzata dalla presenza delle Alpi e l'altro rappresentativo dei bacini collocati nell'area geografica caratterizzata dalla presenza degli Appennini.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il presente lavoro, oltre che dal personale interesse riguardo l'argomento trattato, nasce dalla consapevolezza della necessità di comprendere più a fondo le dinamiche ed i processi che regolano un fenomeno così complesso quale quello della sedimentazione negli invasi artificiali. Tale consapevolezza deriva dall'attuale ottica di sostenibilità alla quale si deve tendere per garantire risorse alle future generazioni.

Nella prima fase del lavoro si è evidenziata la carenza di dati disponibili relativi alle dighe italiane, tale carenza ha reso impossibile l'applicazione di modelli complessi già esistenti in letteratura scientifica.

È stato quindi indagato il fenomeno oggetto di studio nella sua forma più generale, per ricostruirne l'evoluzione e cercarne una diversa chiave di lettura: l'apporto solido alla diga espresso come l'effettiva quantità di sedimenti che riesce a raggiungere la sezione di chiusura del bacino a seguito dei processi di erosione, trasporto e deposizione.

La modellazione è stata condotta sul parametro SDR la cui definizione racchiude il concetto appena espresso. È necessario premettere che la ricerca nel campo di tale parametro è ancora in corso, gli studi presenti in letteratura sono stati condotti per lo più su base sperimentale e ancora non è stato sviluppato un modello universale spazialmente distribuito per uniformare i risultati di ciascuno studio.

Detto ciò, è stato inevitabile scegliere la via empirica per modellare tale parametro, in particolare ricorrendo all'analisi di regressione statistica.

L'analisi di regressione condotta sui due campioni di dati osservati di SDR rappresentativi rispettivamente dei bacini idrografici collocati nelle Alpi e di quelli collocati negli Appennini, ha messo in evidenza la significatività di sole 4 delle 13 variabili inizialmente scelte per caratterizzare i bacini: la pendenza media della curva ipsografica dei bacini (P_{60}), calcolata prendendo come quota

di riferimento il 60% dell'elevazione totale del bacino, il coefficiente di circolarità (R_c), l'elevazione media del bacino (E) e l'area dello stesso (A). Tutte le variabili mostrano un buon livello di significatività rispetto all'SDR ed indicano quindi che le caratteristiche del bacino che descrivono, hanno effettivamente un'influenza sui fenomeni che il parametro SDR rappresenta. A tal proposito, si osserva che le variabili esplicative risultate significative descrivono tutte caratteristiche morfologiche/morfometriche dei bacini e che nessuna delle variabili considerate nel set iniziale, rappresentative delle caratteristiche idrologiche o climatologiche o ancora di uso e copertura del suolo, hanno mostrato significatività rispetto alla variabile dipendente. Ciò, probabilmente, è dovuto al fatto che di per sé la complessità del fenomeno è tale da non poter essere colta in tutti i suoi aspetti dal tipo di modellazione introdotto, che poggiandosi su basi empiriche, presenta, per sua natura, delle limitazioni intrinseche.

I risultati ottenuti in fase di calibrazione per entrambi i modelli, possono considerarsi soddisfacenti. I coefficienti di determinazione $R^2 = 0,81$ e $R^2 = 0,89$ rispettivamente per il modello rappresentativo delle Alpi e quello rappresentativo degli Appennini, mostrano che effettivamente sussiste una relazione lineare, nei logaritmi, tra la variabile SDR e le variabili esplicative P_{60} , R_c , E ed A . In fase di validazione, i risultati ottenuti non confermano la validità del modello trovato per gli Appennini $R^2 = -130,37$, mentre la confermano per le Alpi $R^2 = 0,70$. Si evidenzia che, sicuramente i risultati ottenuti sono influenzati anche dalla numerosità del campione, che infatti è spesso frequente oggetto di dibattito nel campo di applicazione della regressione lineare (Rodríguez et al., 2019).

I risultati ottenuti dall'applicazione della procedura Jackknife, se da un lato non ne dimostrano l'efficacia in termini assoluti, dall'altro non smentiscono la validità degli stessi per il modello delle Alpi e mostrano comunque un miglioramento per il modello degli Appennini. I dati così elaborati sembrano mostrare, quindi, globalmente una netta distinzione tra i bacini idrografici collocati nell'area geografica alpina e quelli collocati nell'area geografica appenninica, nella risposta ai complessi fenomeni di erosione, trasporto solido e deposizione che determinano l'SDR. Infatti, ciò che si evince è che il modello, seppur sviluppato su basi empiriche, sembra cogliere bene il comportamento dei bacini collocati nelle Alpi mentre non è possibile affermare lo stesso per i bacini collocati negli Appennini. Ciò evidenzia implicitamente un diverso comportamento.

In aggiunta ai risultati del modello, l'interpretazione grafica della variazione delle curve ipsografiche dei bacini analizzati sia per le Alpi che per gli Appennini, al variare dell'SDR osservato per gli stessi, sembra fornire una conferma del differente comportamento dei gruppi di bacini.

Si potrebbe supporre che la natura di tale differente risposta possa risiedere nelle profonde differenze geologiche, di formazione e di evoluzione delle catene alpine ed appenniniche.

La numerosità dei dati disponibili, così come la natura sperimentale dell'analisi condotta, non permettono di risalire con certezza alla causa del fenomeno osservato. È fuor di dubbio che l'ipotesi summenzionata e la conferma di quanto sin qui osservato costituiscono un punto di partenza e debbano essere oggetto di indagine che costituirà lo sviluppo futuro del lavoro fino ad ora svolto.