

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA CALABRIA

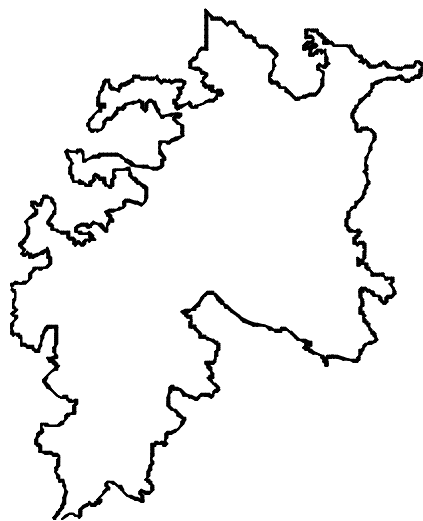
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

DIPARTIMENTO DI DIFESA DEL SUOLO "V. Marone"

TESI DI LAUREA

***Le tecniche dell'ingegneria naturalistica e le opere
di sistemazione nel Parco Nazionale del Pollino***



RELATORE

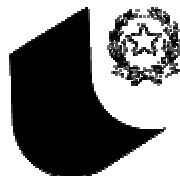
Ch.mo Prof. Ing. Pasquale VERSACE

CANDIDATO

Luca DE FELICE

Matr.27568

Anno Accademico 1997/98



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA CALABRIA

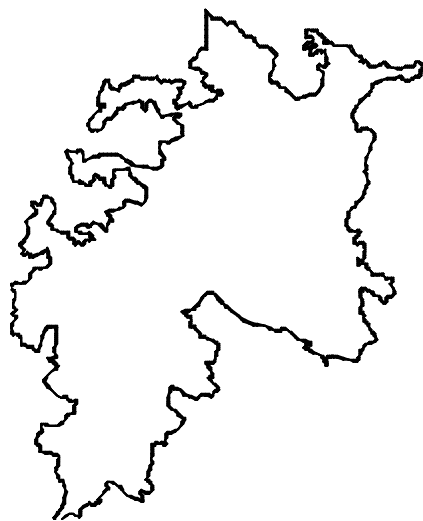
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

DIPARTIMENTO DI DIFESA DEL SUOLO "V. Marone"

TESI DI LAUREA

***Le tecniche dell'ingegneria naturalistica e le opere
di sistemazione nel Parco Nazionale del Pollino***



RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Pasquale VERSACE

CANDIDATO

Luca DE FELICE

Matr.27568

Anno Accademico 1997/98

INDICE

Capitolo 1

1. DEGRADO AMBIENTALE E SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI.....	1
1.1. DISSESTO IDROGEOLOGICO ED EROSIONE.....	1
1.1.1. Dissesto idrogeologico.....	1
1.1.2. Il fenomeno erosivo.....	3
1.1.2.1. L'erosione idrica.....	6
1.1.3. Aspetti quantitativi del fenomeno erosivo.....	9
1.2. DISSESTO IDROGEOLOGICO E AREA CALABRO-LUCANA.....	13
1.3. SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI.....	18
1.3.1. Obiettivi delle sistemazioni idraulico-forestali.....	18
1.3.2. Cenni storici sulle sistemazioni idraulico-forestali.....	19
1.3.3. Tecniche di ingegneria naturalistica.....	22
1.3.4. Classificazione delle opere di sistemazione idraulico-forestale.....	23

Capitolo 2

2. TECNICHE DI SISTEMAZIONE DI INGEGNERIA NATURALISTICA.....	25
2.1. ASPETTI GENERALI.....	25
2.2. I MATERIALI UTILIZZATI.....	32
2.2.1. Materiali vegetali viventi.....	32
2.2.1.1. Le caratteristiche degli apparati vegetali.....	34
2.2.2. Materiali vegetali morti.....	38
2.2.3. Materiali artificiali di derivazione naturale.....	38
2.2.3.1. Biostuoie.....	38
2.2.3.2. Geojuta.....	39
2.2.4. Materiali completamente sintetici (Geotessili).....	39
2.2.4.1. Principali proprietà dei geotessili.....	40
Proprietà meccaniche.....	40
Proprietà fisiche.....	41
Permeabilità verticale del geotessile.....	41
Durabilità.....	42
2.2.4.2. Tipologie di geotessili.....	42
Geotessili non tessuti.....	42
Geocompositi drenanti.....	43
Geogriglie.....	43

Geotessili tessuti	44
Reti tridimensionali.....	44
Geocelle	44
2.2.5. <i>Materiali inerti</i>	45
2.3. LE OPERE	46
2.3.1. <i>Interventi estensivi</i>	46
2.3.1.1. Interventi di rivestimento	47
Semine di manti erbosi.....	48
2.3.1.2. Interventi stabilizzanti.....	49
Gradonate.....	50
2.3.1.3. Interventi combinati	51
2.3.1.4. Interventi complementari.....	52
2.3.2. <i>Interventi intensivi</i>	53
2.3.2.1. Opere trasversali.....	54
Opere trasversali con utilizzo di materiale vivo	55
Opere trasversali con soli materiali inerti.....	56
2.3.2.2. Opere longitudinali.....	57
Altre strutture longitudinali.....	58
2.3.2.3. Cunettoni e canalizzazioni	59
SCHEDA I. Inerbimenti.....	63
SCHEDA II. Semina con fiorume.....	65
SCHEDA III. Semina standard	66
SCHEDA IV. Idrosemina.....	67
SCHEDA V. Semina a Mulch.....	68
SCHEDA VI. Semina a Mulch con sistema Schiechl (Procedimento nero-verde)	69
SCHEDA VII. Semine di piante legnose	71
SCHEDA VIII. Copertura vegetale diffusa con ramaglia	72
SCHEDA IX. Talee.....	75
SCHEDA X. Vimate e Graticciate.....	76
SCHEDA XI. Fascinata viva.....	78
SCHEDA XII. Drenaggio con fascine	83
SCHEDA XIII. Cordonata (Praxl).....	85
SCHEDA XIV. Gradonata di latifoglie radicate	87
SCHEDA XV. Gradonata di ramaglia viva.....	88
SCHEDA XVI. Gradonata di latifoglie radicate e di ramaglia viva.....	89
SCHEDA XVII. Muro a secco rinverdito, scogliera.....	90
SCHEDA XVIII. Cuneo filtrante.....	92
SCHEDA XIX. Gabbionata rinverdita.....	93
SCHEDA XX. Materiali geotessili rinverditi.....	94
SCHEDA XXI. Elementi a reticolo spaziale rinverditi.....	96
SCHEDA XXII. Grata viva a camera.....	98
SCHEDA XXIII. Trapianto di piante allevate con pane di terra,	

in vaso o in contenitori	100
SCHEDA XXIV. Traslazione di manti vegetali.....	101
SCHEDA XXV. Piantagione di rizomi e di cespi divisi.....	102
SCHEDA XXVI. Piantagione di rizomi e di rizomi sminuzzati	103
SCHEDA XXVII. Consolidamento di erosione lineare con ramaglia.....	104
SCHEDA XXVIII. Palizzate.....	105
SCHEDA XXIX. Soglia a cespuglio vivo interrata	107
SCHEDA XXX. Soglia di fascine	109
SCHEDA XXXI. Soglia di graticciate	111
SCHEDA XXXII. Soglia in gabbioni metallici	112
SCHEDA XXXIII. Soglia in legname	113
SCHEDA XXXIV. Palificata di sostegno viva.....	114
SCHEDA XXXV. Briglia di gabbioni.....	116
SCHEDA XXXVI. Briglia in blocchi.....	117
SCHEDA XXXVII. Briglia a fessura in calcestruzzo con rivestimento in pietre e legname	118
SCHEDA XXXVIII. Briglia in scogliera e calcestruzzo	120
SCHEDA XXXIX. Briglia in calcestruzzo con rivestimento in legname e pietrame....	121
SCHEDA XL. Briglia in pietrame e malta	122
SCHEDA XLI. Briglia in legname e pietrame	123
SCHEDA XLII. Piantagione di culmi di canne	124
SCHEDA XLIII. Trapianto di canneto con pane di terra.....	125
SCHEDA XLIV. Rullo con pani di canna	127
SCHEDA XLV. Impianto di talee nei selciati eseguiti con pietre naturali	129
SCHEDA XLVI. Posa in opera di ramaglia su rivestimenti di pietrame.....	131
SCHEDA XLVII. Fascinata viva.....	132
SCHEDA XLVIII. Fastelli di rami e rametti.....	133
SCHEDA XLIX. Opere longitudinali in ramaglia	135
SCHEDA L. Sistemazione spondale elastica	136
SCHEDA LI. Repellenti in legname e pietrame o massi.....	138
SCHEDA LII. Repellente a cespuglio.....	140
SCHEDA LIII. Pettini vivi.....	142
SCHEDA LIV. Graticciata con ramaglia	143
2.4. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E DI VERIFICA DELLE OPERE	
DI INGEGNERIA NATURALISTICA	145
2.4.1. Rivestimento di canali con manto erboso	146
2.4.2. Rivestimento di sponde fluviali con opere di ingegneria naturalistica.....	153
2.4.3. Stabilizzazione dell'alveo di un corso d'acqua mediante massi sciolti	160
2.5. OPERE IN GABBIONI	166
2.5.1. Vantaggi e limiti d'impiego.....	166
2.5.2. Caratteristiche costruttive.....	167

2.5.2.1. Gabbioni a scatola	168
2.5.2.2. Materassi Reno	170
2.5.3. Opere trasversali in gabbioni	174
2.5.3.1. Dimensionamento delle briglie in gabbioni.....	178
Calcoli idraulici.....	179
Calcoli statici	182
2.5.4. Opere longitudinali in gabbioni e materassi Reno	186
2.5.4.1. Muri.....	187
2.5.4.2. Rivestimenti in gabbioni e materassi Reno	191
2.5.4.3. Opere di difesa miste.....	193
2.6. STRUTTURE PER IL PASSAGGIO DELL'ITTIOFAUNA	195
2.6.1. Scale di risalita a bacini successivi	199
2.6.2. Scala Denil.....	204
2.6.3. Rampe in pietrame	206

Capitolo 3

3. SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI NEL PARCO NAZIONALE

DEL POLLINO.....	211
3.1. PREMessa	211
3.2. IL PARCO NAZIONALE DEL POLLINO	218
3.3. LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL PARCO NAZIONALE DEL POLLINO	219
3.3.1. Il perimetro del parco	219
3.3.2. Cenni geologici e litologici.....	220
3.3.3. Cenni faunistici	222
3.3.4. Cenni vegetativi	225
3.4. L'IMPATTO AMBIENTALE DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI NEL	
TERRITORIO DEL PARCO	228
3.4.1. Premessa	228
3.4.2. La situazione attuale	228

Capitolo 4

4. UN'IPOTESI DI SISTEMAZIONE DI UN TRONCO DEL FIUME LAO.....	235
4.1. PREMessa	225
4.2. POSIZIONE GEOGRAFICA	226
4.3. IPOTESI DI SISTEMAZIONE.....	238
4.4. CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL BACINO DEL LAO	239
4.4.1. Il reticolo idrografico.....	239

4.4.2. Le Stazioni di misura.....	240
4.5. INDIVIDUAZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO	242
4.6. VERIFICHE IDRAULICHE	245
4.6.1. Considerazioni generali.....	245
4.6.2. Suddivisione in tronchi omogenei.....	245
4.6.3. Calcolo dei tiranti idrici	246
4.6.4. Verifica degli argini.....	249
4.7. INTERVENTI PROPOSTI	251
4.8. OPERE	252
4.8.1. Muri d'argine in calcestruzzo	252
4.8.1.1. Caratteristiche costruttive.....	253
4.8.2. Muri d'argine in gabbioni	254
4.8.2.1. Caratteristiche costruttive.....	254

Appendice A

RELAZIONE TECNICA	256
A.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	256
A.2. CALCOLO DEL MURO DI SPONDA	256
A.2.1. Premessa.....	257
A.2.2. Predimensionamento	257
A.2.3. Calcolo delle spinte	258
A.2.3.1. Spinta del terrapieno.....	258
A.2.3.2. Azioni sismiche	259
A.3. VERIFICHE DI STABILITÀ.....	260
A.3.1. Verifica a ribaltamento.....	260
A.3.2. Verifica allo scorrimento.....	260
A.3.3. Verifica a schiacciamento	261
A.3.4. Verifica al carico limite in fondazione	263
A.3.5. Verifica alla stabilità globale.....	265

Appendice B

ELENCO PREZZI UNITARI MURI IN CALCESTRUZZO.....	285
COMPUTO METRICO MURI IN CALCESTRUZZO.....	289
ELENCO PREZZI UNITARI MURI IN GABBIONI.....	299
COMPUTO METRICO MURI IN GABBIONI.....	301
 Bibliografia.....	 308

Capitolo 1

DEGRADO AMBIENTALE E SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI

1.1 DISSESTO IDROGEOLOGICO ED EROSIONE

1.1.1 Dissesto idrogeologico

Il suolo, inteso nella sua accezione più ampia come l'insieme territorio-opere infrastrutturali-abitati, quindi come risultato dell'integrazione più o meno completa di insediamenti antropici nel contesto della modificazione naturale del territorio stesso, risulta essere costantemente "sollecitato" dalla natura e dall'uomo e, a causa di ciò, in continua evoluzione. L'azione modellatrice è presieduta dagli agenti geodinamici che conducono complessivamente al delicato fenomeno dell'erosione concepita come la sequenza azione disgregatrice- trasporto solido-deposito del materiale lapideo.

In Italia il processo erosivo è particolarmente intenso e cospicuo a causa della costituzione geologicamente giovane e delle pendenze rilevanti dei terreni costituenti il territorio nazionale, occupato infatti per poco meno del 20% della sua superficie da pianure e per la rimanente aliquota a metà tra colline e montagne. Il bel paese è caratterizzato, inoltre, per buona parte del suo territorio, da un clima che alterna periodi siccitosi ad altri particolarmente piovosi con intensità tali da favorire un'erosione copiosa ed accentuata. Una siffatta conformazione territoriale unita alle particolari caratteristiche meteorologiche attribuiscono al degrado ambientale una connotazione naturale, ma offrono il fianco anche all'azione umana spesso deleteria ed irrazionale nel suo intervento sul territorio. Difatti l'uomo attraverso un uso

sconsiderato del suolo ha talvolta determinato imponenti fenomeni erosivi o aggravato quelli naturali.

L'evoluzione della civiltà, quindi la modificazione dell'uso del suolo ed il mutato assetto demografico e sociale hanno portato l'uomo ad occupare aree sempre più ampie privandole della fondamentale difesa vegetale con azioni di disboscamento, con l'urbanizzazione, con il notevole sviluppo delle vie di comunicazione e con la presenza sempre più ampia sul territorio di grandi opere ed infrastrutture. Tutto ciò insieme ad una eventuale spiccata propensione del territorio a lasciarsi modellare dagli agenti naturali porta come conseguenza fondamentale al progressivo indebolimento delle capacità di difesa e, soprattutto, di autorigenerazione degli ecosistemi. Una simile situazione può degenerare in processi di degrado gravissimi, sempre più spesso, distruttivi ed irreversibili.

Gli effetti principali del quadro di degrado ambientale appena descritto, sono compendati nel termine *dissesto idrogeologico* volto ad indicare, appunto, l'insieme delle conseguenze pratiche del fenomeno erosivo naturale accelerato dall'interferenza dell'uomo, dai movimenti franosi all'erosione dei versanti, dal sovralluvionamento dei bacini montani all'alluvionamento dei territori di fondovalle fino alle colate detritiche.

Il dissesto idrogeologico appare quindi strettamente legato al tema del rischio idrogeologico principalmente attraverso i fenomeni dei movimenti di massa in alveo e sui versanti (debris flow e frane) e attraverso i fenomeni di sovralluvionamento che, verificandosi in una zona valliva del corso d'acqua per effetto di un accumulo rapido di materiali trasportati da monte, possono provocare il brusco innalzamento del fondo alveo con conseguenti fenomeni di esondazione.

Ma altri problemi classici, importanti dal punto di vista sociale, sono provocati dal dissesto idrogeologico, per esempio l'impoverimento del terreno agricolo

per effetto dell'erosione può portare ad un progressivo abbandono delle aree coltivate contribuendo eventualmente al fenomeno della desertificazione.

La perdita di suolo assume particolare rilevanza, specialmente nel caso delle frazioni più sottili e delle frazioni a più elevato contenuto organico, nell'ambito del trasporto di nutrienti e di inquinanti.

Il campo delle risorse idriche risulta essere interessato attraverso il problema dell'interrimento di invasi artificiali a causa dei fenomeni di erosione e di trasporto che si sviluppano a monte, mentre molti litorali sono investiti direttamente dal problema dell'erosione attraverso l'arretramento delle spiagge causato dall'eccessivo prelievo di materiali inerti dai corsi d'acqua.

1.1.2 Il fenomeno erosivo

Il degrado della montagna inflitto dall'azione erosiva è generato da due differenti tipi di azioni geodinamiche: chimico e meccanico.

L'azione erosiva di tipo chimico è meno palese rispetto a quella meccanica ma più attiva e continua, specialmente nelle regioni equatoriali e oceaniche dove il clima caldo ed umido è propizio alle reazioni chimiche che disciolgono in un lento processo di trasformazione i costituenti minerali della roccia.

L'azione di dissoluzione viene svolta dall'acqua che si infiltra nel terreno e nelle rocce o che scorre in superficie, tramite l'aria in essa disciolta.

Difatti, in condizioni normali, l'acqua contiene una quantità di aria stimata intorno al 2% del proprio volume e a causa dei diversi coefficienti di solubilità dei vari gas, l'aria disciolta nell'acqua risulta avere un contenuto di ossigeno maggiore rispetto all'aria atmosferica e risulta essere più carbonata. (*Benini G.: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.*)

E' proprio la presenza dell'ossigeno e dell'anidride carbonica che genera la scomposizione e la dissoluzione di rocce come il gesso, le dolomie e il calcare facilmente attaccate.

Molto più incisiva e celere risulta essere l'azione erosiva di tipo meccanico causata da diversi fattori che di volta in volta possono essere presenti contemporaneamente o da soli a seconda del regime morfoclimatico vigente nella zona considerata.

Tra le cause principali dell'azione erosiva meccanica, occorre menzionare le escursioni termiche, importanti in particolare nelle zone di alta montagna, nei deserti, nelle regioni artiche.

Le variazioni di temperatura favoriscono l'apertura, nelle rocce, di fessure e screpolature nelle quali si infiltra l'acqua che ghiacciando aumenta di volume e provoca il distacco di frammenti di roccia.

Alle latitudini italiane, in alta montagna, la zona con intensa azione disgregatrice di questo tipo si trova intorno ai 2000 m.s.m, sopra il limite del bosco e al di sotto del limite delle nevi perenni.

Nelle zone desertiche è molto importante l'azione del vento chiamata nello specifico deflazione.

Tra gli agenti fisici un ruolo importante nell'attività erosiva è da assegnare sicuramente all'azione gravitativa che può provocare frane e valanghe, queste ultime possono sradicare alberi intaccando il terreno anche se consolidato e protetto dalla vegetazione.

Viene chiamata esarazione l'azione meccanica dei ghiacciai che contribuiscono con una duplice funzione al fenomeno erosivo, una lenta di trasporto dei detriti di roccia con la formazione caratteristica delle morene laterali e frontali, l'altra di disgregazione per frizionamento con asportazione dal fondo di materiale minuto chiamato limo glaciale.

Ma un'importanza maggiore tra le diverse cause di erosione spetta all'acqua che col suo deflusso superficiale e ipodermico provoca danni relativamente maggiori ed in maniera più repentina rispetto agli altri agenti geodinamici.

E' difficile riuscire ad individuare il fattore fisico che ricopre un ruolo determinante nell'attività erosiva, tra quelli che agiscono simultaneamente in un contesto ambientale predeterminato.

In ogni zona del rilievo terrestre il meccanismo di modellazione della crosta terrestre, inteso come le modalità di distacco, trasporto e deposizione, è strettamente correlato alle particolari condizioni di equilibrio morfoclimatico che si raggiunge localmente, quest'ultimo concepito come equilibrio tra suolo, vegetazione e clima.

A titolo indicativo in figura 1.1 è riportata una classificazione molto sommaria dei climi fatta in base alla temperatura ed alla piovosità media annua, con i corrispondenti effetti qualitativi dell'erosione del suolo da parte dei diversi agenti geodinamici trattati (*Di Silvio G.: "Analisi e controllo del sovralluvionamento nei corsi d'acqua montani (ipotesi per un manuale d'intervento)". GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE, Rapporto 1987*).

I grafici mettono in evidenza, nelle regioni temperate di pianura e di montagna, la predominanza degli agenti geodinamici acqua e gravità che possono agire simultaneamente.

In particolare è importante evidenziare il ruolo indiretto, ma fondamentale, che assume l'acqua nei movimenti di massa direttamente controllati dall'azione della gravità come frane e valanghe.

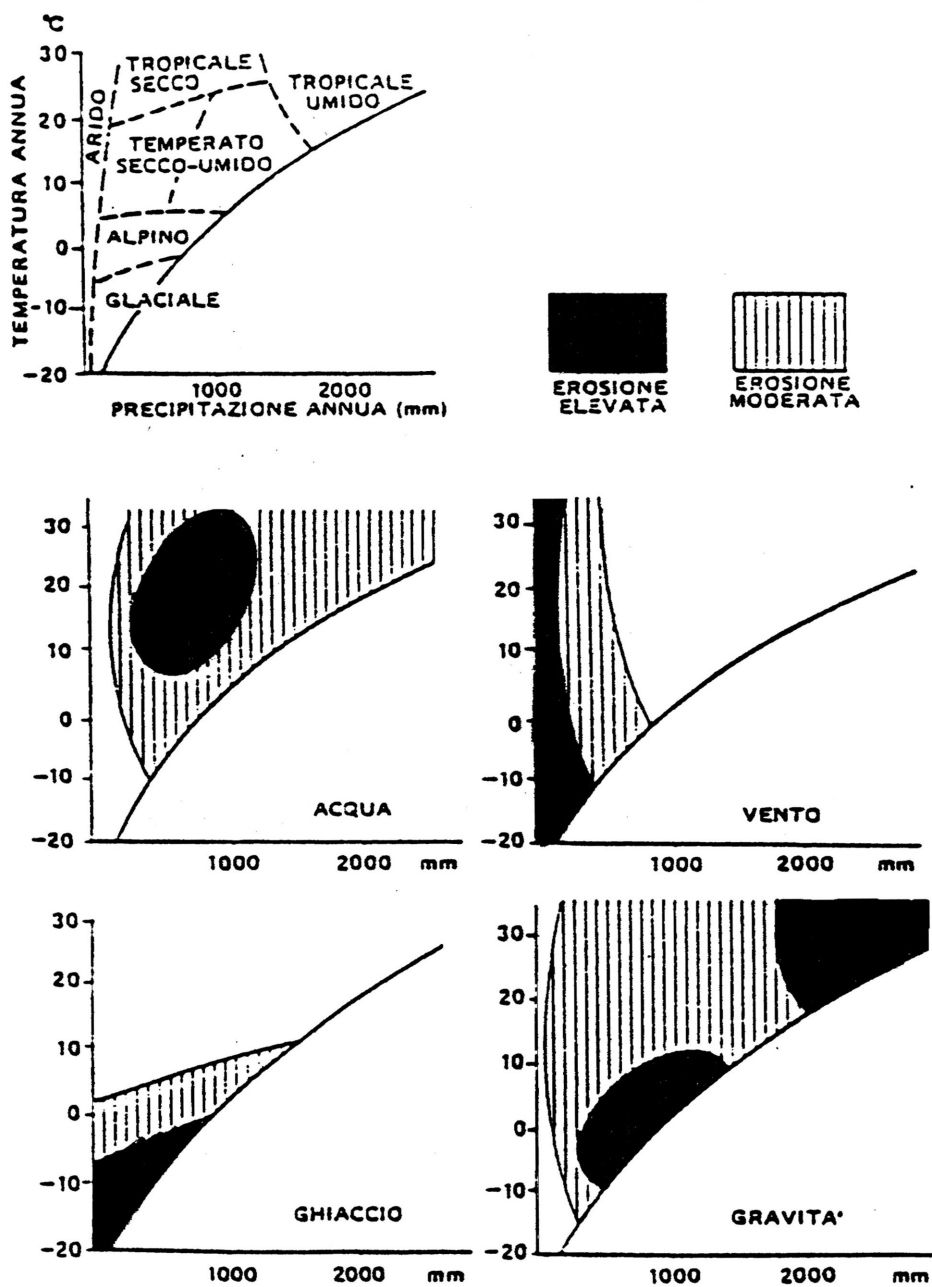


Figura 1.1 - Agenti dominanti dell'erosione in differenti condizioni di equilibrio morfoclimatico (Di Silvio G.: "Analisi e controllo del sovralluvionamento nei corsi d'acqua montani (ipotesi per un manuale d'intervento)". GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE, Rapporto 1987).

1.1.1.1. L'erosione idrica

In un contesto ambientale nel quale l'azione erosiva predominante è svolta dall'acqua, nella miriade di forme che la sua potenza in fase di distacco e di trasporto ha la capacità di generare, è intuitivo riferirsi all'unità territoriale "bacino idrografico" considerata come la cornice naturale nel quale inquadrare il fenomeno erosivo ed in particolare quello dell'erosione idrica.

All'interno del bacino idrografico l'erosione può suddividersi in tre fasi successive: distacco delle particelle di terreno, trasporto del materiale lapideo e sedimentazione dello stesso.

Tutte le fasi del processo erosivo possono essere caratterizzate da un'estensione spaziale più o meno marcata che conduce ad una sistematica di carattere pratico che si articola in erosione superficiale, erosione lineare ed erosione di volume.

L'erosione superficiale risulta dal ruscellamento diffuso delle acque selvagge che a causa della disuniformità della superficie si dirama in un microreticolo idrografico occasionale ed esaurisce la sua fase al momento dell'incanalamento nel reticolo idrografico permanente.

L'erosione lineare consiste nell'azione dell'acqua incanalata e quindi nel deflusso all'interno del reticolo idrografico.

L'erosione di volume corrisponde al collasso di interi blocchi franosi, in tal caso l'azione di gravità assolve al compito di agente motore del fenomeno, ma l'acqua rimane il germe destabilizzante appesantendo per imbibizione versanti instabili, ma soprattutto riducendo l'angolo d'attrito interno del terreno a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali con conseguente diminuzione delle tensioni effettive sui granuli.

Volendo riferire il movimento di materiale solido al ciclo idrologico occorre iniziare dall'azione battente delle gocce di pioggia la cui energia cinetica al contatto col suolo provoca la disgregazione dello stesso.

Il successivo ruscellamento (erosione superficiale) determinatosi in corrispondenza delle linee di massima pendenza dei versanti ed in corrispondenza di solchi predeterminati contribuisce alla rimozione e al trasporto di materiale solido verso valle e verso gli alvei principali dove poi si realizza l'erosione di alveo (erosione lineare).

Tra i vari fattori che influenzano questa fase di produzione e movimento del materiale solido hanno importanza particolare le caratteristiche della pioggia, come intensità e durata, le caratteristiche del suolo, come il grado di compattezza e la coesività, la copertura vegetale e le caratteristiche topografiche dei versanti come pendenza e lunghezza.

L'erosione di alveo è la forma d'erosione più completa poiché comprensiva di tutte le fasi, il trasporto per sospensione o per trascinamento sul fondo dell'alveo, il distacco dovuto all'azione disgregatrice sul fondo del materiale solido mobilitato dalla potenza della corrente ed infine il deposito del materiale lapideo.

L'acqua in funzione della sua potenza e quindi della sua velocità può dar luogo ad erosione e trasporto dei materiali che formano il fondo e le scarpate delle sponde dei corsi d'acqua, e a questo proposito il diagramma classico di figura 1.2 (*Rankinor*, 1981) mette in relazione la velocità della corrente con il diametro delle particelle ed il conseguente comportamento.

L'acqua incanalata esercita un'azione molto più energica rispetto alle acque selvagge e per i torrenti, in relazione ai criteri di sistemazione, assume maggiore importanza il movimento del materiale sul fondo dell'alveo.

Una frazione di acqua di ruscellamento si infiltra nel terreno generando il deflusso ipodermico che può contribuire alla instabilità di determinati versanti (erosione di volume).

Quest'ultima modalità accennata è molto importante poiché particolarmente attiva nei bacini montani di tipo alpino coperti da boschi per i quali

costituiscono la principale fonte di materiale trasportato dai corsi d'acqua verso valle.

A tal riguardo un'altra causa di movimenti di volume che genera cadute per gravità di masse notevoli di materiale, pure legata all'azione dell'acqua, è quella provocata dall'escavazione al piede dei pendii lambiti da un corso d'acqua.

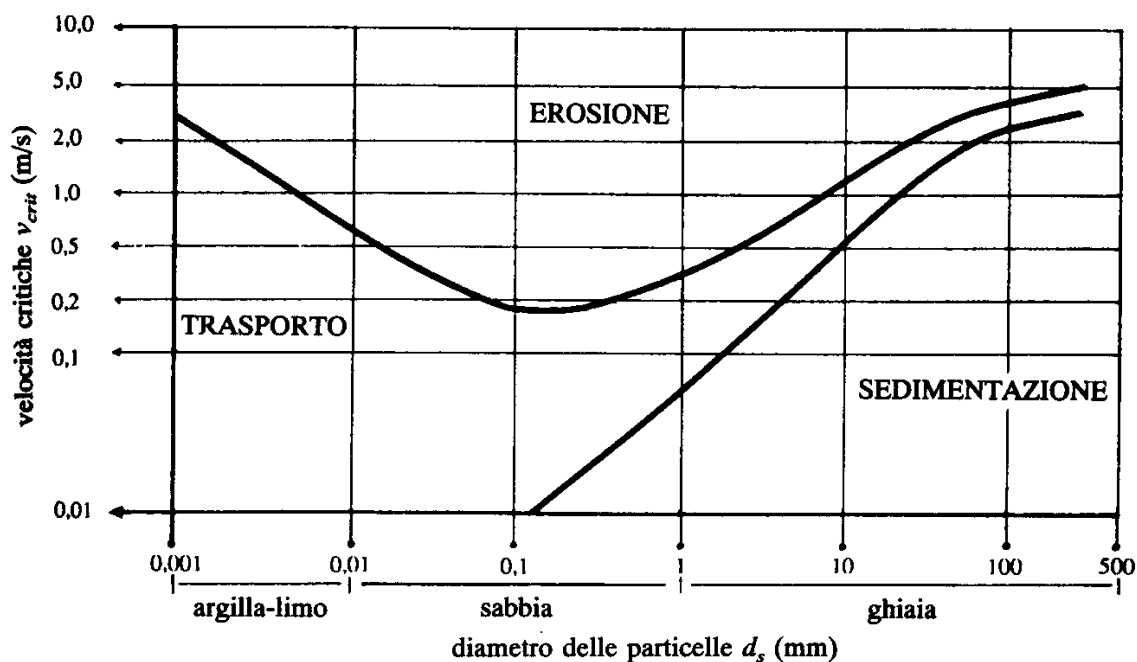


Figura 1.2 - Velocità di erosione, trasporto, sedimentazione in funzione del diametro della particella (Rankilor, 1981).

1.1.3 Aspetti quantitativi del fenomeno erosivo

La comprensione del fenomeno erosione può essere agevolata dalla lettura di alcuni dati quantitativi relativi all'Italia e ad altri paesi.

Il programma europeo CORINE (Coordination Information Enviroment) ha stimato in circa 82.000 km² (27% del territorio nazionale) le aree che in Italia presentano un rischio potenziale elevato di erosione, mentre 30.000 km² (10%) sono in condizioni di rischio attuale elevato (Giordano, 1994).

Per quanto riguarda altri paesi europei con caratteristiche climatiche simili a quelle italiane i risultati di CORINE presentano valori più elevati: Spagna 41% e 29%, Grecia 43% e 19%, Portogallo 68% e 30%, mentre solo la Francia mediterranea evidenzia valori minori 9% e 1% (Giordano, 1994).

In Italia una ricerca di Gazzolo e Bassi (1961) ha portato alla stima di un valore dell'erosione media annua a scala nazionale di 0,15 mm/anno con punte di 1,7 mm/anno in alcune aree dell'Emilia Romagna, valori riferiti ad una ipotetica ripartizione uniforme dell'erosione su tutta la superficie considerata; il valore medio coincide con quello ottenuto da Giandotti (1959) per alcune aree del territorio nazionale.

Fournier nel 1960, per tutte le terre emerse, calcolò una perdita media annua di 571 tonn/km², mentre Gobert, per il bacino della pianura padana, considerando gli affluenti appenninici e alpini valutò l'erosione media annua pari a 793 tonn/km².

Quest'ultimo valore riportato in termini di perdita di spessore medio di terreno asportato sembra modesta, 0,5 mm/anno, ma occorre considerare che tale valore medio accomuna zone ad erosione pressoché nulla con zone dove l'attività erosiva è particolarmente intensa, difatti Tricart nel 1962 ha constatato che in moltissime situazioni il 90% della portata solida di un corso d'acqua proviene da una piccola parte del bacino di solito inferiore al 10% dell'intera superficie.

Per esempio, per il bacino dell'Arno, Rotini nel 1967 ha calcolato una erosione media di 3 mm/anno, ma che per alcune aree ristrette interne raggiunge i 18 mm/anno.

Di conseguenza, nell'analisi di determinati dati, appare molto importante la scala di dettaglio cui ci si riferisce risultando valori sempre più elevati all'aumentare di questa.

A questo proposito è interessante uno studio effettuato da Ergenzinger (1988) riguardante il bacino calabrese del Buonamico (146 km²) dissestato dalla frana del Costantino nel 1973.

I risultati stimati da Ergenzinger sono ottenuti facendo riferimento sia alla variabilità spaziale che a quella temporale dell'erosione, i valori sono riportati nelle tabelle 1.1 e 1.2 (*Versace P.*: "Piccoli e medi bacini idrografici soggetti a rapida erosione". L'acqua, estratto dell'ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA, pgg. 13-17, 1996).

<i>Area di approvvigionamento</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>Erosione media annua in 25 anni</i> <i>(mm/anno)</i>
Frana di Costantino	0,72	178
Tutte le frane	7,5	100
Bacino montano	41,0	4,7
Bacino totale	146,0	2,4

Tabella 1.1- Erosione del torrente Buonamico in 25 anni (*Versace P.*: "Piccoli e medi bacini idrografici soggetti a rapida erosione". L'acqua, estratto dell'ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA, pgg. 13-17, 1996).

<i>Periodo</i>	<i>Erosione media annua (mm/anno)</i>
Intero quaternario	0,5
Ultimi 15.000 anni	0,3
Ultimi 50 anni	2,5

Tabella 1.2 - Erosione del bacino del torrente Buonamico riferita a diversi periodi (*Versace P.*: “Piccoli e medi bacini

La distruzione del suolo risulta netta ed evidente se si fa riferimento alle ingentissime quantità di terreno portate al mare a causa dei processi erosivi.

Possono essere indicative a questo proposito le valutazioni fatte nella sezione di chiusura di alcuni corsi d'acqua come, per esempio, due torrenti della valle del Piave, il Maè e il Cordevole, utilizzando i rilievi batimetrici condotti nei laghi di Pontisei e di Alleghe che intercettano praticamente tutto il materiale lapideo trasportato dai torrenti, che forniscono, in condizioni ordinarie, valori medi annui pari a 33.000 m³ nel Maè e a 52.000 m³ nel Cordevole corrispondenti rispettivamente a 245 m³/km² e a 209 m³/km².

Addirittura se ci si riferisce all'evento eccezionale verificatosi nel novembre del 1966 i valori calcolati tramite i rilievi batimetrici salgono rispettivamente a 660.000 m³ nel Maè e a 1.070.000 m³ nel Cordevole (*Di Silvio G.*: “Analisi e controllo del sovralluvionamento nei corsi d'acqua montani (ipotesi per un manuale d'intervento)”. GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE, Rapporto 1987).

Alcuni dati interessanti circa i volumi di terreno asportati sono forniti nella tabella 1.3 che si riferisce a valutazioni di interrimenti di serbatoi (*Benini G.*: “Sistemazioni idraulico-forestali”. UTET, Torino, 1990).

<i>Serbatoi</i>	<i>Superficie bacino km²</i>	<i>Volume asportato m³ / km² · anno</i>	<i>Spessore di terreno asportato mm / anno</i>
Cismon a Ponte della Serra (BL)	496	400	0,4
Cellina a Monreale (PN)	445	1926	1,9
Cellina a Barcis (PN)	390	293	0,3
Torre a Crocis (UD)	63	193	0,2
Gorzente a Lavagnina (AL)	25,5	800	0,8
Gela alla Diga (CL)	293	2104	2,1
Rendina alla Diga (Puglia)	400	688	0,7
Piana degli Albanesi (PA)	376	1339	1,3

Tabella 1.3 - Dati sull'erosione valutati in base agli interrimenti di serbatoi (Benini G.: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990).

Riferendosi sempre a dati ottenuti dall'analisi di interrimenti di serbatoi artificiali, Tamburino ed al. (1989) hanno stimato in Sicilia valori medi annui di erosione che variano da 0,5 a 2,8 mm/anno.

Per quanto riguarda il territorio calabrese Sorriso Valvo (1996) ha stimato, tra movimenti di massa ed erosione superficiale, una perdita dai versanti di circa 6 mm/anno corrispondenti approssimativamente a 90 milioni di m³ all'anno nell'intera regione, ma solo una piccola frazione dei 6 mm/anno erosi dai versanti raggiungono direttamente il mare sotto forma di trasporto in soluzione ed in sospensione, mentre i restanti 5,6 mm si muovono come trasporto di fondo e giungono solo in parte al mare.

Viparelli, in un lavoro sulle fumarie calabre del 1972, ha stimato valori dell'erosione dei versanti montani che oscillano tra 50 e 300 m riferendosi ad un periodo di diverse migliaia di anni.

Osservando dati di altri paesi si possono trovare valori locali elevati, in Spagna (ICONA, 1988) si registrano valori tra 1,0 e 2,5 mm/anno con punte di 12,2 mm/anno, in Albania (Zachar, 1982) in media sui 2,5 mm/anno, in alcuni paesi del medioriente come Siria, Israele e Libano (FAO, 1987) sui 3 mm/anno, mentre in Algeria e Marocco si oscilla tra 3 e 12 mm/anno, in Egitto si superano addirittura i 12 mm (FAO, 1987) a causa soprattutto dell'azione eolica.

Tutti i dati riportati danno un'idea delle proporzioni del fenomeno erosivo, ma occorre osservare che, nella maggior parte dei casi, essi non sono direttamente confrontabili tra di loro a causa della loro diversa origine.

Difatti si tratta di dati ricavati facendo riferimento a intervalli temporali o scale spaziali differenti, o a situazioni diverse come il deflusso solido nella sezione di chiusura di un bacino idrografico e l'erosione di un versante soggetto a frane che confluisce nel reticolo idrografico.

In conclusione si può ritenere che, in condizioni di dissesto accentuato, l'erosione media annua a scala di bacino sia dell'ordine di alcuni millimetri con punte intorno ai 12 mm/anno (Versace P.: "Piccoli e medi bacini idrografici soggetti a rapida erosione". L'acqua, estratto dell'ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA, pgg. 13-17, 1996).

1.2 DISSESTO IDROGEOLOGICO E AREA CALABRO-LUCANA

La Calabria e la Basilicata sono afflitte da notevoli problemi di dissesto idrogeologico, è trascurabile il degrado ambientale tipico di regioni in cui è presente una forte attività industriale, ma i problemi di difesa del suolo sono per lo più connessi all'assetto idrogeologico del territorio.

La regione Calabro-Lucana è caratterizzata da un'accentuata propensione al dissesto con un'altissima frequenza di movimenti di massa sia superficiali che profondi con una notevole variabilità sia per dinamica che per tipologia, che vede le due regioni sede di crolli di roccia, di scorrimenti sia traslazionali che rotazionali, di spandimenti laterali, di flussi e di colate.

L'assetto morfo-strutturale dei rilievi e le caratteristiche climatiche della regione Calabro-Lucana, in continua e costante modificazione, si combinano in modo tale da favorire il dissesto idrogeologico che si sviluppa con caratteristiche e modalità differenti dal versante tirrenico a quello ionico (AA.VV.: "Indagine a scala regionale sul dissesto idrogeologico in Calabria provocato dalle piogge dell'inverno 1990". C.N.R., GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE, 1990).

I fattori principali che influenzano le relazioni tra i movimenti di massa e l'assetto territoriale ed ambientale sono essenzialmente di tipo geologico.

Una forte influenza hanno avuto i complessi fenomeni della neotettonica che ha prodotto un'accelerazione della dinamica dei versanti, includendo il forte sollevamento che la regione ha subito e la concentrata distribuzione di terremoti prodotta essenzialmente dal differente sollevamento verificatosi da una zona all'altra.

Associate alle vicende della neotettonica la struttura litologica e la morfologia dei versanti, molti dei quali si trovano al limite di stabilità, hanno contribuito

alla costituzione di un assetto morfologico ed orografico particolarmente giovane generando terreni e rocce con qualità meccaniche particolarmente scadenti. (AA.VV.: “Indagine a scala regionale sul dissesto idrogeologico in Calabria provocato dalle piogge dell’inverno 1990”. C.N.R., GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE, 1990).

Accanto ai fattori geologici anche quelli climatici risultano determinanti per caratterizzare, dal punto di vista idrogeologico, le regioni di Calabria e Lucania, aree piuttosto inclini ad una franosità diffusa, ma anche soggette nel corso della loro storia ad una serie interminabile di alluvioni che, unitamente ai fenomeni di massa, hanno segnato lo sviluppo di queste due regioni.

Un’indagine del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrologiche del CNR ha censito gli eventi alluvionali e franosi che si sono verificati sull’intero territorio nazionale dal primo dopoguerra in poi.

In Calabria, tra il 1918 ed il 1989, sono stati rilevati 254 eventi franosi che hanno prodotto rilevanti danni a beni e persone, 442 eventi alluvionali che si sono verificati in occasione di 80 eventi piovosi di notevole intensità, e che hanno interessato 146 corsi d’acqua e 253 diverse località.

Nello stesso periodo la Lucania è stata sede di 163 eventi franosi rilevanti che hanno interessato metà dei comuni della regione, 78 invece le inondazioni di 19 corsi d’acqua in corrispondenza di 24 eventi precipitativi intensi, che hanno procurato danni a 33 località differenti.

Il regime climatico che caratterizza la zona considerata è responsabile di intensi fenomeni di instabilità superficiale dei pendii con rapida erosione, dilavamento e fenomeni di colamento controllati dalla litologia e dalla struttura geologica presente.

L’andamento delle piogge annue nelle due regioni rivela una grande variabilità sia spaziale che temporale, difatti si passa dai 500-600 mm della costa ionica ai

2000-2200 mm dei massicci del Pollino, delle Serre, della catena costiera e dell'Aspromonte e nella stessa stazione pluviometrica si possono registrare fluttuazioni ampie di valori di pioggia misurata in diversi periodi.

Un'analisi approssimativa ma indicativa mette in evidenza, nel corso dell'anno, uno squilibrio netto tra periodo secco e periodo umido, più marcato nella regione calabra, tipico del clima marittimo, mettendo in rilievo anche un problema di periodo siccitoso, oltre al problema particolarmente ricorrente delle alluvioni.

Si rileva la presenza, nel corso dell'anno, di un periodo che va da ottobre a marzo durante il quale cade, in modo abbastanza uniforme, circa il 70-80 per cento delle precipitazioni annue ed un periodo che va da giugno ad agosto quando cade circa il 6-10 per cento del totale annuo, e solo un'esigua aliquota di pioggia annua si distribuisce in modo uguale nei restanti tre mesi dell'anno (*Versace P.*).

Appunto il peculiare clima, tipicamente mediterraneo, che alterna zone aride a zone con piovosità intensa caratterizza la ricorrenza di eventi estremi che favoriscono l'innescò di movimenti franosi.

Di fondamentale importanza nel processo di formazione delle piene è l'estensione areale notevole degli eventi precipitosi che molte volte interessano gran parte di un bacino idrografico di uno o più fiumi.

L'andamento dei deflussi rispecchia quello delle precipitazioni con una notevole variabilità temporale che si riduce per i bacini più piccoli nei quali si accentua lo squilibrio tra periodo estivo e periodo invernale.

In un anno medio cadono 17 miliardi di metri cubi di pioggia in Calabria e 9 miliardi in Basilicata, mentre il volume complessivo portato al mare dalla rete idrografica delle due regioni ammonta a circa 11 miliardi di metri cubi, con una frazione notevole di afflusso perso per evaporazione o che arriva direttamente al mare tramite le falde sotterranee (*Versace P.*).

I fiumi calabro-lucani sono chiamati “fiumare” per le loro caratteristiche peculiari che li contraddistinguono dai principali fiumi italiani.

Le fiumare hanno una limitata estensione con una pendenza nel tratto montano particolarmente elevata che frequentemente supera il 20 %.

Notevole risulta essere l'apporto di materiale solido che avviene a causa dell'erosione superficiale intensa e diffusa e a causa dei frequenti eventi franosi.

L'erosione in alveo, particolarmente efficace nei tratti montani e soprattutto nei periodi di piena accentua il carattere incassato del corso d'acqua incrementando l'instabilità dei versanti per erosione al piede.

La pendenza diminuisce più a valle ed il fiume non ha più l'energia per poter trasportare l'immenso quantitativo di materiale lapideo, favorendo in tal modo il deposito e la formazione di estese aree occupate da ciottoli, macigni, ghiaia e sabbia che il fiume, nei periodi tranquilli, non è in grado di occupare totalmente limitandosi a percorrere più canali che si intrecciano tra loro e che sono sottoposti a stravolgimenti e spostamenti notevoli nel corso delle piene.

Nei fiumi più importanti le zone di deposito si trovano in tratti particolari intermedi seguiti da zone di pianura in cui l'alveo appare abbastanza stabile nel tempo, mentre nella gran parte dei casi la zona di deposito arriva fino al mare caratterizzando il paesaggio di tante spiagge del litorale Calabrese per la cospicua presenza di materiale lapideo.

In un contesto ambientale come quello appena descritto anche l'azione dell'uomo ha contribuito ad esaltare il fenomeno del dissesto.

In particolare la costruzione di un notevole numero di invasi artificiali, le sistemazioni idraulico-forestali, peraltro necessarie in gran parte del territorio, ed il prelievo scriteriato ed incontrollato di materiale inerte dalle fiumare hanno stravolto ed alterato il bilancio del trasporto solido con la conseguenza

che nelle aree di deposito l'attività di sedimentazione ha lasciato il posto ad un'azione erosiva anche molto intensa in taluni casi.

L'arretramento delle coste, a causa dei fattori prima accennati, è un evidente risvolto negativo dell'azione antropica insieme ai problemi di inquinamento da ascrivere essenzialmente alle acque reflue, ai rifiuti solidi urbani e a effluenti prevalentemente di natura organica provenienti da attività produttive legate per lo più all'agricoltura.

A far da contorno al degrado ambientale l'inefficacia delle Regioni nell'applicare la legge sulla difesa del suolo (n°183) e l'assenza di manutenzione che vanifica i risultati conseguiti con le sistemazioni operate in precedenza.

E così un paesaggio eccezionale come quello Calabrese e Lucano, in grado di offrire forti emozioni, bellezze naturali di ineguagliabile suggestività risulta molte volte deturpato, avvilito e violentato dall'azione antropica.

Le risorse naturali di queste due regioni sembrano essere immense, ma l'abbandono e l'incuria a cui certe aree sono sottoposte richiamano ad una maggior consapevolezza degli effetti determinati sull'ambiente e sul territorio dall'azione umana, in modo tale da riuscire a coniugare le esigenze di sviluppo con quelle della conservazione del paesaggio.

“Molta parte della tragica situazione attuale risiede nel mancato controllo sull'opera dell'uomo ed alla mancanza di quella disciplina degli interventi sempre auspicata ma mai attuata .

L'abbandono da parte degli agricoltori di vasti territori coltivati, la distruzione indiscriminata della superficie boschiva, l'uso, a volte veramente folle, dei materiali fluviali e torrentizi per le costruzioni, che ha arrecato ed arreca danni di estrema gravità ai litorali ed alle stesse opere di difesa o di attraversamento, e tante altre nocive attività costringono chi scrive e chi si occupa di questi problemi ad elevare una veramente indignata protesta che coinvolge tutti noi sì, ma in particolare gli organi preposti alla salvaguardia del territorio, il parlamento e i governi che via via si sono succeduti...ed anche le opposizioni che non si sono battute sino in fondo su tali problemi” (V. Marone, 1975).

1.3 Sistemazioni idraulico-forestali

1.3.1 Obiettivi delle sistemazioni idraulico-forestali

Nei territori particolarmente soggetti, per svariate cause, a dissesto idrogeologico appare evidente la necessità di predisporre gli strumenti necessari alla difesa del suolo e alla difesa delle aree urbanizzate, specialmente nelle zone montane e collinari dove l'azione erosiva risulta essere più intensa e distruttiva.

Le opere di sistemazione idraulico-forestale si prefiggono lo scopo di ridurre il degrado della montagna provocato dall'erosione e da tutti i fenomeni ad essa connessi.

Più precisamente è possibile individuare due obiettivi principali inerenti le sistemazioni idraulico-forestali:

- salvaguardia dei bacini;
- miglioramento delle condizioni idrauliche della pianura.

Il primo, più diretto ed immediato, si consegue con lavori in due direzioni: consolidamento dei bacini di raccolta dell'acqua e correzione dei torrenti.

Questi interventi sono tesi al miglioramento delle condizioni dei bacini montani, riducendo i fenomeni erosivi, creando nuovi boschi e migliorando quelli esistenti, regolando e regimentando i corsi d'acqua e stabilizzando i versanti in frana.

Il secondo obiettivo delle sistemazioni deriva dallo stretto legame che esiste tra il disordine idrogeologico dei bacini montani e il rischio di alluvionamento delle aree di fondovalle da cui consegue direttamente la necessità di integrare le opere dei bacini montani con opere realizzate a valle.

Il dissesto dei bacini montani provoca un notevole apporto di materiale solido che viene trasportato a valle dai torrenti e dai fiumi e che, depositandosi sul letto dei tronchi di pianura dei fiumi, porta come conseguenza

all'innalzamento del fondo alveo dei corsi d'acqua e all'aumento della pericolosità delle piene.

Le opere di sistemazione idraulico-forestale consistono, quindi, in interventi di differente tipologia finalizzati agli obiettivi precedentemente esposti e, in linea del tutto generale, è possibile affermare che le sistemazioni idraulico-forestali hanno lo scopo di controllare il degrado della montagna e di mantenere, sia pure artificialmente, uno stato di equilibrio del bacino idrografico il quale tende sempre ad evolversi grazie anche all'interferenza antropica.

In genere si distinguono le opere di sistemazione che riguardano le aste del reticolo idrografico da quelle che invece interessano il bacino di raccolta, quest'ultimo inteso come l'insieme dei versanti su cui avviene il deflusso superficiale, che termina il suo percorso nell'asta fluviale di competenza, e la produzione, per erosione o frane, del materiale lapideo.

Gli interventi sull'asta si prefiggono la sua stabilizzazione e quella delle sue sponde e si attuano con soglie di fondo che fissano la sezione dell'alveo, briglie che, diminuendo la pendenza tramite salti di fondo, riducono la capacità erosiva della corrente e stabilizzano le sponde, muri di sponda, difese longitudinali e pennelli che evitano l'erosione delle sponde, ed infine le sistemazioni a cunetta che sono canali a sezione ristretta rivestiti in modo tale da evitare l'erosione del fondo e delle sponde, utilizzate in particolare nell'attraversamento dei centri abitati.

Gli interventi sul bacino sono rappresentati essenzialmente dalla sistemazione del suolo tramite seminazione di essenze adeguate, opere di drenaggio, muri di sostegno, soglie e piccole briglie sul reticolo idrografico minore.

1.3.2 Cenni storici sulle sistemazioni idraulico-forestali

In apparenza meno complesso è stato l'approccio nel passato, poiché il motivo degli interventi sul territorio montano era dettato principalmente da cause di difesa e di emergenza puntuale dei nuclei abitativi.

Nell'evoluzione dei secoli, con lo sviluppo prepotente della civiltà, la superficie boschiva si riduceva gradualmente e assumevano sempre più importanza le vie di comunicazione montane le quali andavano difese dai possibili danni che i torrenti potevano causare.

Notizie di opere di sistemazione montana nell'antichità si hanno attraverso cenni fatti in opere di scrittori come Platone, ma anche se non resta alcun esempio pratico e se non documentato in maniera precisa, rimane molto probabile che nell'antichità fossero stati effettuati lavori di sistemazione montana che, comunque, erano meno usuali per la maggiore estensione delle foreste e dei boschi.

Si svilupparono dapprima in prevalenza le sistemazioni longitudinali sul torrente e, in un secondo tempo, anche quelle trasversali, che all'inizio avevano essenzialmente il compito di proteggere i centri abitati dalle alluvioni di sedimenti che le piene erano capaci di generare.

Alcuni cenni dell'impiego di queste prime opere trasversali si trovano in alcuni documenti del 1500, tra cui un'importante opera costruita nelle Alpi nel 1537, una briglia in legname realizzata dall'ingegnere veronese Franco Recamatori per difendere la città di Trento dalle piene del torrente Fersina, briglia più volte ricostruita con la pietra in sostituzione del legno e tuttora esistente con una altezza totale di 37,90 m.

Notevole anche un'opera costruita nel 1612 in Alto Adige sul Rio di Quarazza, si trattava di una briglia di trattenuta in muratura di pietrame a secco alta circa 10 m, ma con uno sviluppo al coronamento di 35 m.

Segni circa la presenza di briglie di consolidamento in muratura a secco costruite nella seconda metà del secolo XVII si trovano in alcuni torrenti che sono posti nella zona di Bressanone (BZ).

Lo sviluppo di tali opere in questo periodo non è casuale, ma risulta essere una conseguenza del dissesto del territorio aggravato dalla indiscriminata sottrazione di area ai boschi a causa dell'ampliamento della popolazione, che richiedeva spazio da destinare a coltura e a pascolo, e a causa dell'utilizzo sostenuto del legno sia come materiale da costruzione che come principale fonte di energia trasportabile.

In realtà i segnali di una riflessione concettuale più profonda, sulle sistemazioni idraulico-forestali, che approdasse allo studio dell'intima connessione tra dissesto dei versanti montani e accumulo dei detriti a valle ed in particolare nelle aste fluviali, si ebbero fin dal 1500 in Italia e simili studi si protrassero per almeno altri tre secoli.

Esempi eloquenti sono forniti da Andrea Bacci nell'opera *"Del Tevere"* del 1576, in cui indica tra i provvedimenti da adottare per evitare l'accumulo di detriti nel fiume il divieto di utilizzare a coltura i terreni vicini al Tevere, o di Iseppo Paulini proprietario di boschi nel Bellunese che nel 1608, in una lettera al Doge di Venezia, espone chiaramente tra le origini dell'interrimento della laguna di Venezia lo scempio della montagna in atto a quel tempo a causa dei numerosi incendi appiccati dolosamente per incrementare la superficie a disposizione di colture e pascolo.

Ma un vero e proprio cambiamento radicale nello studio delle sistemazioni idraulico-fluviali si ha con Vincenzo Viviani che nel 1688 nel suo *"Discorso al Serenissimo Cosimo III Granduca di Toscana intorno al difendersi da' riempimenti, e corrosioni de' fiumi, applicato ad Arno in vicinanza della città di Firenze"* individua nell'erosione delle zone montane la causa dell'innalzamento del letto dell'Arno ed espone tra i rimedi la costruzione di briglie in serie, la prima

chiara indicazione di utilizzo di briglie di consolidamento dell'alveo fluviale, il divieto di taglio dei boschi e il rimboschimento di ampie zone montane.

Molto interessanti risultano essere le indicazioni tecnico-costruttive che Vincenzo Viviani fornisce circa le modalità di costruzione delle briglie, con descrizione particolareggiata delle caratteristiche costruttive alcune delle quali sono tuttora considerate nelle realizzazioni odierne, dalle feritoie alla presenza della gàveta all'ammorsamento alle sponde.

Per la scarpa a valle dello sbarramento, invece, Viviani consigliava un valore molto elevato, criterio molto seguito in quei tempi, mentre oggi si tende a limitarla al massimo al valore di 0,2.

Nel XIX secolo fu posta una notevole attenzione allo studio delle sistemazioni idraulico-forestali in particolare in Francia, Austria e Svizzera attraverso il contributo di importanti studiosi quali Jules Fabre, Alexandre Surrel, Joseph Duile e Prosper Demontzey che trattarono in modo organico l'argomento delle sistemazioni montane.

L'Italia nel XIX secolo non partecipò in modo particolarmente efficace allo sviluppo della disciplina delle sistemazioni ed il governo nel 1893 mandò una commissione di tecnici nei paesi più all'avanguardia in questo campo, Francia, Austria e Svizzera per aggiornarsi circa le tecniche delle sistemazioni montane.

Molto più vivace sotto questo aspetto si dimostra il secolo attuale, che a partire dal manuale Hoepli (1912) del Valentini "*Sistemazione dei torrenti e dei bacini montani*" e proseguendo col ponderoso trattato del De Horatiis e con le pubblicazioni di G. e A. Romiti, Di Tella-Bay, Hofmann, Garcia Najera, Strele, Zoli, Fattorelli, Lelli ecc. ha prodotto una bibliografia interessante riguardante l'argomento dei criteri e delle opere di sistemazione.

1.3.3 *Tecniche di ingegneria naturalistica*

In tempi recenti sulla spinta della rivalutazione ambientale sono andate diffondendosi ed affermandosi, accanto ai metodi classici e tradizionali dell'ingegneria idraulica, le cosiddette tecniche di ingegneria naturalistica o bioingegneria.

Le tecniche dell'ingegneria naturalistica si avvalgono di materiali vegetali viventi spesso in unione con altri materiali quali legname, pietrame, acciaio.

Spesso si tratta di opportune rivisitazioni e riedizioni di modi costruttivi antichi adottati nel passato per l'impossibilità di adottarne altri.

In tal modo si garantisce l'uso di tecniche di rinaturazione dei corsi d'acqua degradati, di salvaguardia del paesaggio e di biocenosi caratteristiche.

Una siffatta impostazione non deve ovviamente estremizzarsi in uno scriteriato e deleterio abbandono totale delle tecniche sistematorie tradizionali, le quali risultano in molti casi ancora strettamente necessarie ed insostituibili per far fronte ad emergenze idrauliche finalizzate alla prevenzione di grandi catastrofi.

L'approccio attuale consta nel riuscire a pervenire alla integrazione ottimale delle tecniche tradizionali e di quelle naturalistiche, capace in buona parte di garantire l'ambiente ed il paesaggio senza mettere a repentaglio la sicurezza dei territori interessati.

E' utile a tal proposito evidenziare la necessità di un profondo grado di integrazione delle diverse tecniche con le caratteristiche fisico-ambientali e geomorfologiche delle aree da sistemare.

Ovviamente la scelta delle sistemazioni naturalistiche deve avvenire in completa sintonia con l'ambiente circostante non modificando e non alterando le aree omogenee dal punto di vista biologico.

1.3.4 *Classificazione delle opere di sistemazione idraulico-forestale*

E' stato chiarito in precedenza che le opere di sistemazione interessano due parti distinte del bacino: le pendici dove cadono le acque di pioggia e l'asta del torrente dove si raccolgono queste acque.

Sulla base di tale distinzione è possibile classificare, peraltro in maniera molto schematica, le opere nelle due seguenti categorie:

- opere estensive;
- opere intensive.

Le prime, che riguardano il bacino di raccolta, sono rivolte per lo più a consolidare i terreni instabili e a ridurre l'erosione del suolo.

Questi interventi vengono effettuati, considerando la quota, la natura del terreno, lo stato di degrado delle pendici, con diversi tipi di opere, dal modellamento orografico tramite terrazzamenti, al consolidamento tramite muri di sostegno, alla regolazione delle acque selvagge con drenaggi, ed infine al miglioramento costituzionale del suolo.

Quest'ultimo intervento di ricostituzione della copertura vegetale del territorio, si attua attraverso il rimboschimento, il rinfoltimento, gli interventi silvo-colturali sulle fasce boscate non efficienti, le pratiche agronomiche per la sistemazione dei pascoli degradati ecc.

Si tratta di provvedimenti in generale efficaci ed utili solo a lunga scadenza.

Le opere intensive sono di natura prevalentemente idraulica e constano di manufatti progettati e dimensionati con i criteri ed i metodi dell'ingegneria civile; la loro finalità principale è quella di sistemare gli alvei dei corsi d'acqua correggendo le pendenze, proteggendo le sponde.

Si tratta in genere di briglie, soglie, pennelli, che possano essere raggruppate come opere trasversali, e difese spondali o più in generale opere longitudinali.

Nell'ambito delle opere a carattere intensivo è possibile pervenire ad un'altra classificazione basata sulle caratteristiche di comportamento delle varie strutture, adottando tale criterio si distinguono le opere in:

- rigide;
- flessibili;
- semirigide;
- in materiale sciolto.

Le opere rigide sono costruite di solito in muratura di pietrame con malta, o in calcestruzzo armato o meno, sono sensibilissime ai cedimenti provocati da scalzamenti o dalla scarsa resistenza del terreno di fondazione o da movimenti franosi.

Sono opere praticamente impermeabili, quindi soggette alle sottopressioni ed alle spinte idostatiche, inoltre una volta eseguite raramente è possibile modificarle o ampliarle con costi convenienti, di contro garantiscono nella maggior parte dei casi coefficienti di sicurezza statica elevati.

Di comportamento nettamente differente sono le opere flessibili, così chiamate per le caratteristiche del materiale utilizzato (legno, gabbionate), che possono adattarsi ai cedimenti e sopportare deformazioni elevate senza subire danni notevoli, ma richiedono molte volte una maggiore manutenzione, mentre la limitazione maggiore è di natura statica non potendo garantire lo stesso grado di sicurezza del calcestruzzo o delle opere rigide in generale.

Le opere semirigide costituiscono una soluzione di compromesso tra le opere rigide e quelle flessibili e si basano sul concetto di creare strutture più leggere delle rigide aventi, però, un grado di deformabilità maggiore.

Si tratta spesso di opere realizzate con elementi prefabbricati particolarmente resistenti all'usura, ma molte volte il loro funzionamento risente dei difetti propri sia delle opere rigide che di quelle flessibili.

Infine le opere in materiale sciolto che possono consistere in gettate di massi naturali o artificiali di adeguate dimensioni posti alla rinfusa, o solamente in costruzioni in terra opportunamente sistemata.

Le difese in gettate di massi sono molto utilizzate in casi di emergenza per presidiare contro danni incombenti strade, argini, abitati, mentre il funzionamento delle opere in terra richiama quello delle dighe in terra e possono essere utilizzate per realizzare briglie o argini, ma con le dovute riserve a causa dell'estrema erodibilità di cui risentono.