

Regione Abruzzo

Comune di Atri

Riserva Naturale Regionale Oasi WWF "Calanchi di Atri"

Studio di fattibilità per la formazione del nuovo Piano di assetto naturalistico

(L.R. n. 38/1996)

Progetto Preliminare, 20 luglio 2011



ALL. 2

STUDI DI SETTORE

ASSETTO IDROGEOLOGICO E DIFESA DEL SUOLO

a cura di Cesare Crocetti, con la collaborazione di Adriana Cavaglià e Matteo De Albertis



Approvato con Delib. C.C. n. 3 DEL 26.07.2016
Esattile e sostanzialmente conforme alla Delib. C.C. n. 31 DEL 2.07.2016



Il presente atto, composto di n. 146 fogli e di n. 146 fasciate è conforme all'originale.



RUP *ex novo* **Urbanistica**
Atri - **Mare** (Ufficio Urbanistico Comunale di Atri)

Consulenze scientifiche:
Prof. Paolo Comi Dipartimento di Scienze Naturali dell'Università di Camerino, **area** **Bardolucco** **area** **Uccia**
Prof. **Rovigatti** **area** **Uccia** **area** **Uccia** **area** **Uccia**
Prof. **De Santis**, **C. Scarna**, **A. Scarna**, **A. Scarna**, **A. Scarna**
Prof. **Crocetti**
Prof. **De Santis**, **C. Scarna**, **A. Scarna**, **A. Scarna**, **A. Scarna**

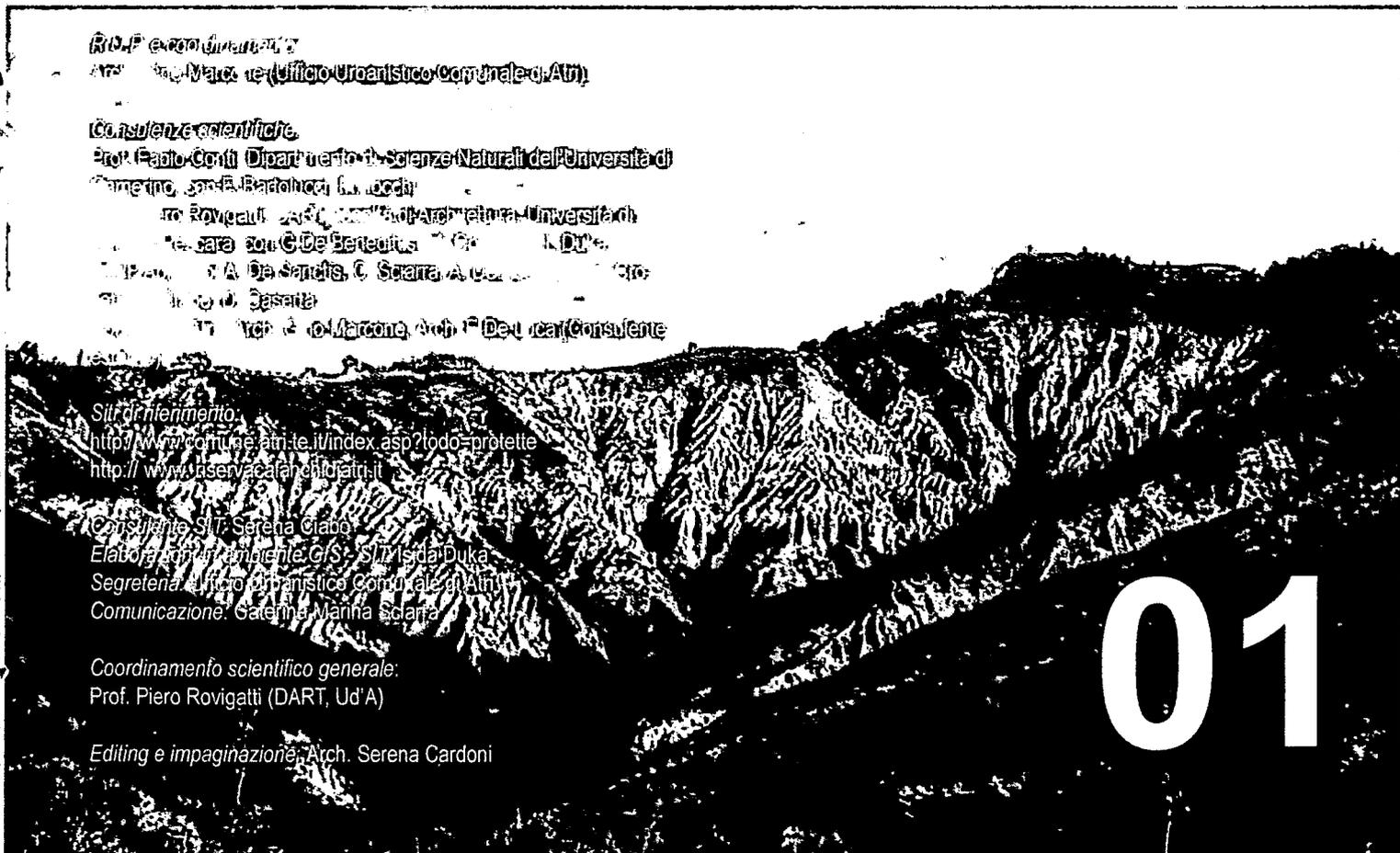
Siti di riferimento:
<http://www.comune.atri.te.it/index.asp?todo=protezione>
<http://www.asservacalanchiatri.it>

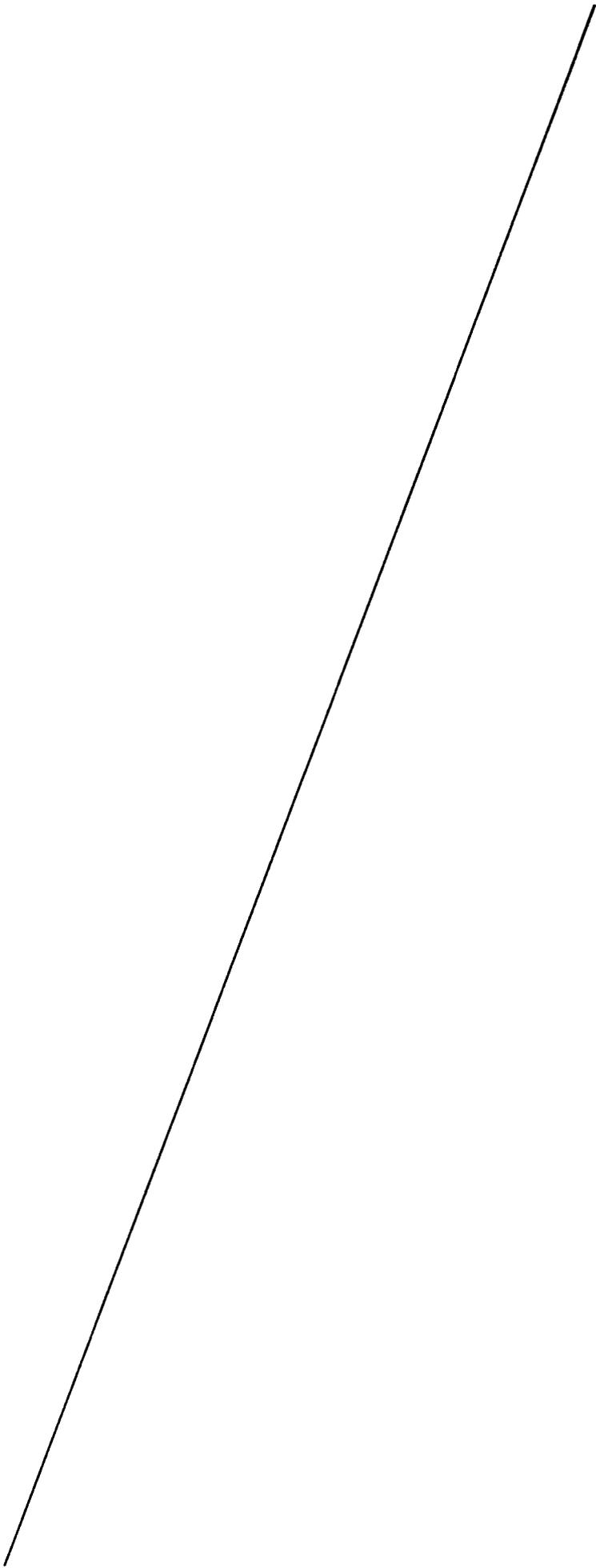
Consulente S.I.T. Serena Cardoni
Elaborazioni cartografiche G.I.S. S.I.T. Sida Duka
Segreteria: Ufficio Urbanistico Comunale di Atri
Comunicazione: Caterina Marina Scarna

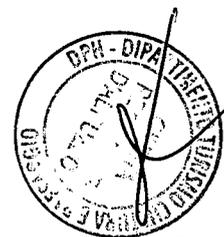
Coordinamento scientifico generale:
Prof. Piero Rovigatti (DART, Ud'A)

Editing e impaginazione: Arch. Serena Cardoni

01

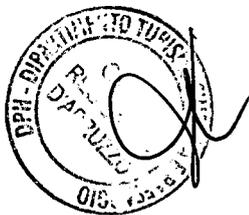






Indice

| | |
|---|-----------|
| Introduzione. Definizione del campo di analisi..... | 2 |
| Metodologia..... | 3 |
| PARTE A: ASSETTO GEO-IDROLOGICO DEL TERRITORIO..... | 3 |
| A.1 Idrografia ed orografia..... | 5 |
| A.2 Inquadramento geologico..... | 5 |
| A.3 Influenza della morfotettonica sui caratteri geomorfologici..... | 5 |
| A.4 Litostratigrafia..... | 7 |
| A.5 Geomorfologia..... | 9 |
| A.6 Morfologie calanchive..... | 14 |
| A.6.1 Genesi delle morfologie calanchive..... | 17 |
| A.6.2 Tipologie morfologiche..... | 19 |
| A.6.3 Aspetti mineralogici e chimico fisici delle argille..... | 22 |
| A.6.4 Caratteristiche geotecniche (proprietà meccaniche)..... | 24 |
| A.6.5 Brevi considerazioni sulla pedologia dei terreni argillosi..... | 25 |
| A.7 Clima..... | 26 |
| A.8 Matrice insediativa ed infrastrutturale viaria..... | 28 |
| A.9 Uso del suolo ed interazioni con gli aspetti socio-economici..... | 32 |
| A.10 Pericolosità e rischio idrogeologico..... | 33 |
| A.10.1 Interazioni tra rischio idraulico e trasporto solido..... | 38 |
| PARTE B: STRUMENTI PER APPROCCI SOSTENIBILI ALLA DIFESA DEL SUOLO..... | 43 |
| B.1 Manutenzione diffusa del territorio..... | 50 |
| B.2 Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo..... | 52 |
| B.3 Difesa del suolo nelle aree montane e collinari..... | 59 |
| B.3.1 Sistemazioni idraulico-agrarie..... | 62 |
| B.3.2 Sistemazioni idraulico-forestali..... | 66 |
| B.4 Progettazione in ambito idraulico con criteri naturalistici..... | 79 |
| B.5 Ingegneria naturalistica..... | 85 |
| B.5.1 Riferimenti normativi e manualistici..... | 91 |
| B.5.2 Caratteristiche della progettazione e settori di analisi..... | 92 |
| B.5.2.1 Criteri di selezione delle tecniche nelle sistemazioni di versante..... | 93 |
| B.5.2.2 Criteri di selezione delle tecniche nelle sistemazioni idrauliche..... | 98 |
| B.5.2.3 I materiali..... | 103 |
| B.5.2.4 Livelli progettuali..... | 107 |
| B.5.2.5 Valutazione di un progetto di ingegneria naturalistica..... | 109 |
| B.5.2.6 Frequenti errori esecutivi..... | 111 |
| B.5.3 Progetto botanico..... | 112 |
| B.6 Aree percorse da incendio..... | 117 |
| B.6.1 Linee guida d'intervento ed indicazioni progettuali..... | 119 |
| B.6.2 Interventi di ricostituzione della vegetazione nelle aree percorse dal fuoco..... | 121 |
| B.7 Sistemazione di aree calanchive..... | 125 |
| B.7.1 Classificazione degli approcci metodologici..... | 127 |
| B.7.2 Esperienze italiane..... | 128 |
| B.7.2.1 Le sistemazioni idraulico-agrarie del Landeschi..... | 130 |
| B.7.2.2 Sistemazioni idraulico-forestali delle colline calanchive del materano..... | 130 |
| B.7.2.3 Interventi sperimentali di ingegneria naturalistica nel senese..... | 131 |



B.7.2.4 Un caso esemplare: bonifica e rinaturalizzazione dei calanchi di S. Marino 134
BIBLIOGRAFIA..... 139

Introduzione. Definizione del campo di analisi

La Riserva Naturale Regionale dei Calanchi di Atri appartiene, dal punto di vista idrografico, al "Bacino Regionale del Piomba" formato dal T. Piomba, dal T. Calvano e da alcuni corsi d'acqua limitrofi.

Si tratta di una particolare unità idrografica, definita nel Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo, che ricopre il settore periadriatico e pedemontano sud-orientale della provincia di Teramo¹ ed una piccola porzione settentrionale della provincia di Pescara².

Il Bacino Regionale in esame copre una superficie di circa 187 km² ed è caratterizzato da bacini idrografici di limitata estensione, con foce diretta a mare, impostati quasi totalmente su litotipi argillosi altamente erodibili. La litologia e la morfologia del territorio determinano un fitto reticolo idrografico caratterizzato da vie di drenaggio intermittenti, tra cui molte valli e vallecole tipiche delle morfologie calanchive.

La matrice insediativa del territorio è costituita da insediamenti storici sui rilievi collinari, da dense urbanizzazioni di recente costruzione nelle esigue piane alluvionali e nella stretta fascia costiera e da un territorio agricolo collinare ricco di frazioni e case sparse.

La rete viaria locale è fitta e ramificata e la fascia costiera è attraversata da importanti vie di comunicazione: la SS16, l'A14 e la linea ferroviaria adriatica.

L'area collinare risulta interessata da diversi fenomeni franosi ed erosivi, mentre la fascia costiera e le piane alluvionali risultano ad alto rischio idraulico.

Delicati equilibri idraulici e geomorfologici convivono nell'area con esigenze di conservazione e tutela del patrimonio naturale e storico-archeologico, di messa in sicurezza di insediamenti, infrastrutture, attività agricole ed industriali e di manutenzione del paesaggio agrario.

Il presente studio di settore del Piano di Assetto Naturalistico della Riserva Naturale Regionale dei Calanchi di Atri, intende illustrare le principali caratteristiche del territorio che concorrono a definirne l'assetto idrogeologico³ e permettono di comprenderne gli elevati gradi di pericolosità e rischio presenti.

Si intendono inoltre fornire indicazioni operative volte ad affrontare il tema della difesa del suolo in termini sostenibili che valutino, con un approccio sistemico, gli aspetti di messa in sicurezza e manutenzione di un territorio.

Metodologia

Il presente studio di settore è stato effettuato inquadrando l'area protetta nel contesto dell'unità idrografica di riferimento.

L'analisi dell'assetto geo-idrologico di un territorio deve essere necessariamente condotta a livello di bacini idrografici, in quanto tale approccio sistemico risulta l'unico che permetta di avere una visione completa del problema, nella consapevolezza del legame che intercorre tra le varie parti del bacino e del loro reciproco condizionamento.

¹ Comuni di Atri, Castilenti, Cellino Attanasio, Cermignano, Montefino, Pineto e Silvi.

² Comuni di Città S. Angelo ed Elice.

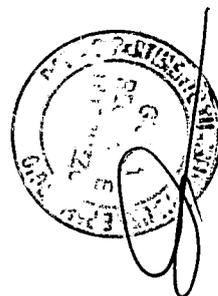
³ Le espressioni *assetto* o *dissesto idrogeologico* si riferiscono a rigore a tematiche e problemi inerenti le acque sotterranee, che sono per l'appunto campo di studio dell'*idrogeologia*. Il termine idrogeologico dovrebbe essere quindi sostituito con *geo-idrologico*, con cui ci si riferisce alle problematiche idrauliche e geomorfologiche di un territorio, ma è ormai entrato nell'uso comune ed anche nel linguaggio tecnico-scientifico. Le due espressioni verranno quindi per semplicità egualmente utilizzate nel seguito della trattazione.

Il presente studio di settore è stato effettuato attraverso:

- l'analisi del vigente Piano di Assetto Naturalistico della Riserva;
- l'analisi di Piani sovraordinati (*Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo, Piano Territoriale Provinciale della Provincia di Teramo*);
- la raccolta di dati ed informazioni contenuti in pubblicazioni e studi esistenti;
- analisi di cartografia tematica;
- sopralluoghi sul campo;
- analisi di documentazione fotografica.

Nella prima parte del presente elaborato sono analizzate e sintetizzate le principali caratteristiche idrografiche, geologiche, geomorfologiche, climatiche, insediative e di uso del suolo del territorio⁴, analizzandone il grado di rischio idrogeologico, le sue fonti e le sue cause principali.

Nella seconda parte vengono forniti strumenti operativi di difesa del suolo e di manutenzione del territorio e del paesaggio agrario, utili a elaborare una corretta pianificazione, gestione e sistemazione dell'assetto geo-idrologico della Riserva e dell'unità idrografica di riferimento, con vantaggi sotto il profilo strettamente tecnico-funzionale, ma con positive ricadute anche dal punto di vista naturalistico, paesaggistico, economico e sociale.



⁴ Non vengono prese in considerazione in questo studio le caratteristiche vegetazionali dell'area per cui si rimanda allo specifico studio di settore allegato al presente Piano di Assetto Naturalistico.

PARTE A: ASSETTO GEO-IDROLOGICO DEL TERRITORIO

A.1 Idrografia ed orografia

Il "Bacino Regionale del Piomba" comprende i torrenti Piomba e Calvano, i fossi Cerrano, Foggetta, Concio, ed alcuni fossi minori nei comuni di Pineto e Silvi.

Sono inoltre presenti nell'area canali artificiali di drenaggio delle acque superficiali (tra cui il maggiore è il così detto Formale Ponno).

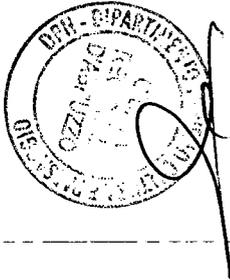
L'unità idrografica così individuata risulta di forma triangolare ed è costituita da bacini di limitata estensione, suddivisi come nella tabella A.1.I, con corsi d'acqua dal regime torrentizio e con foce diretta a mare, che si sviluppa soprattutto nel settore orografico collinare periadriatico e limitatamente in quello pedemontano più interno.

La quota massima è costituita dai 749 m del M.te Giove ed il tratto di costa sotteso è di circa 14 km, con una stretta pianura costiera (200 e 1000 m di ampiezza).

La configurazione orografica dell'area è modellata dai corsi d'acqua su terreni collinari argillosi ed caratterizzata da dorsali collinari e valli torrentizie con pianie alluvionali di modestissima estensione. Particolarmente diffusa risulta la presenza di un reticolo idrografico intermittente, ospitato in valli e vallette tipiche delle morfologie calanchive.

I corsi d'acqua hanno un andamento generalmente pettinato (T. Piomba, F.so Cerrano, F.so Concio, fossi minori) ed, in misura minore, dendritico e subdendritico (F.so Foggetta, T. Calvano) e presentano una generale migrazione dell'alveo verso destra.

Il reticolo idrografico si è formato generalmente sulle linee di debolezza strutturale del sistema di faglie e del substrato geologico. Esso risulta in fase erosiva soprattutto nella parte alta ed incide sia il substrato che i depositi colluviali e di frana.



| Bacino idrografico | Superficie (km ²) |
|--------------------|-------------------------------|
| T. Piomba | 107,5 |
| T. Calvano | 35,5 |
| F.so Cerrano | 15,7 |
| F.so Foggetta | 3,6 |
| F.so Concio | 2,8 |
| Fossi minori Nord | 4,9 |
| Fossi minori Sud | 2,8 |
| Canali Artificiali | Superficie (km ²) |
| Formale Ponno | 13,4 |
| Altri formali | 1 |
| TOTALE | 187,2 |

Tab. A.1.I - Bacini idrografici presenti nell'area di studio e loro estensioni.

A.2 Inquadramento geologico

L'area in esame è situata nell'Abruzzo settentrionale.

A grande scala, i sedimenti che affiorano nell'area, appartengono sia ai depositi delle avanfosse del Messiniano e del Pliocene inferiore, che a quelli del bacino periadriatico.

I terreni più antichi appartengono alla *Formazione della Laga* (Messiniano- Pliocene inferiore basale) ed alla *Formazione Cellino* (Pliocene inferiore); essi affiorano nella porzione più interna dell'area che si sviluppa, dalla fascia pedemontana, fino all'altezza della linea Cellino Attanasio – Penne; tali terreni si sono depositati in due distinti bacini di avanfossa i quali si sono sviluppati in momenti diversi, in relazione alla migrazione verso Est del sistema catena – avanfossa.

Nella porzione più esterna dell'area che si estende ad est della linea Cellino A. – Penne sino alla costa adriatica, affiora la *Formazione Mutignano*, costituita da sedimenti del ciclo plio-pleistocenico.

Nell'area studiata, la *Formazione della Laga* è rappresentata dai tre membri principali individuati da Centamore *et al.* (1977/1979): membro pre-evaporitico (inferiore), "evaporitico" (medio) e post-evaporitico (superiore), depositatisi con meccanismi di torbida nel sub-bacino della Laga più esterno, situato ad est della dorsale *Montagna dei Fiori-Montagnone* e a nord dell'allineamento trasversale *Monte Morrone-Montebello di Bertona*.

Nell'area in esame questi tre membri sono costituiti, genericamente, da depositi di lobo e paina sottomarina che diventano sempre più fini e distali verso sud e verso l'alto.

Verso est la *Formazione della Laga* è limitata dal sovrascorrimento di quest'ultima sulla *Formazione Cellino*, secondo l'allineamento *Bisenti-Poggio delle Rose*, con direzione circa NNW-SSE.

Al di sopra della *Formazione della Laga* giacciono, in discordanza, i *Conglomerati di Rigopiano* del Pliocene inferiore, coevi e laterali delle *Marne del Vomano*.

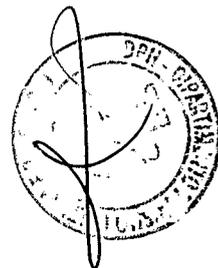
I depositi del bacino del Cellino affiorano dal Fiume Vomano a nord (sono stati però rinvenuti nel sottosuolo anche in aree più settentrionali), fino al Fiume Pescara, a sud dell'area in studio; ad oriente sono sepolti sotto i sedimenti del ciclo plio-pleistocenico, mentre ad occidente sono in contatto tettonico con la *Formazione della Laga*.

La *Formazione Cellino* è costituita da sedimenti torbiditici di riempimento della nuova avanfossa. La *Formazione Cellino* è stata suddivisa in tre membri principali: un membro basale caratterizzato da facies arenacee; un membro medio caratterizzato da un'associazione pelitico-arenacea, entro cui si intercalano, a varie altezze, corpi arenaceo-pelitici ed arenacei; un membro superiore prevalentemente pelitico, entro cui sono intercalati orizzonti arenaceo-pelitici ed arenacei.

I depositi del bacino periadriatico appartengono al ciclo plio-pleistocenico che inizia con depositi basali grossolani appartenenti alla fase trasgressiva del Pliocene medio; questi giacciono in discordanza sui sedimenti del bacino del Cellino. Ad essi seguono sedimenti di piattaforma appartenenti alla *Formazione Mutignano*; essa è costituita prevalentemente da argille grigio-azzurre alle quali si intercalano, a diverse altezze stratigrafiche, orizzonti sabbiosi, pelitico-arenacei ed arenaceo-pelitici.

Al di sopra della *Formazione Mutignano* giacciono in discordanza depositi grossolani di tetto, quali sabbie e conglomerati, ascrivibili alla fase regressiva pleistocenica.

I depositi di tetto sono costituiti da depositi costieri pleistocenici, geneticamente legati ad un fenomeno di sollevamento generalizzato che, a partire dalla fine del Pleistocene inferiore, determina l'emersione di tutta la fascia periadriatica marchigiano-abruzzese. In conseguenza di tale fenomeno i depositi marini plio-pleistocenici, assumono il loro attuale assetto monoclinale con immersione verso est. Il contatto tra i depositi regressivi e la sottostante successione plio-pleistocenica è di tipo erosivo. I depositi di tetto si presentano in corpi tabulari sabbiosi e conglomeratici con scarsa o assente frazione siltosa.



L'assetto strutturale attuale dell'area in esame si deve ad una serie di fasi tettoniche compressive e distensive che si sono susseguite nel tempo.

Lo stile tettonico compressivo è geneticamente legato alla costruzione della catena a *thrust* dell'Appennino e determina pieghe, scollamenti ed accavallamenti a vergenza orientale, evidenti in affioramento nelle aree più interne. Nell'area più esterna, invece, le strutture compressive sono sepolte sotto i depositi del Pliocene superiore - Pleistocene, ma sono state evidenziate attraverso sezioni sismiche (Crescenti *et al.*, 1980); si rilevano così due anticlinali ad orientamento meridiano che costituiscono l'allineamento "Cellino", più interno, e l'allineamento "Campomare" lungo la costa adriatica.

A.3 Influenza della morfotettonica sui caratteri geomorfologici

L'area dove affiorano le Formazioni geologiche sopra descritte, possono essere suddivise in due settori:

- un settore pedemontano, litologicamente costituito dalle unità torbiditiche della Formazione della Laga e del Cellino, caratterizzato da rilievi che raggiungono circa 800 m di quota s.l.m. e da una vegetazione prevalentemente arborea;
- un settore collinare dove affiora la successione pelitica plio-pleistocenica, caratterizzata da dolci rilievi collinari che generalmente non superano i 450 m di quota s.l.m..

Il modellamento del settore pedemontano è legato inizialmente a processi di erosione areale, successivamente a processi di erosione lineare ed a fenomeni gravitativi.

Il modellamento del settore periadriatico è condizionato dalla natura pelitica e subordinatamente sabbiosa dei terreni che sono soggetti, quindi, ad intensi processi erosivi e che danno luogo prevalentemente a morfologie calanchive. Anche i fenomeni gravitativi sono particolarmente frequenti in quest'area.

Al termine della fase tettonica della parte alta del Pliocene inferiore che coinvolge anche la porzione più esterna dell'Appennino, inizia un lento e progressivo sollevamento dell'area in esame. Di seguito intervengono fenomeni di erosione areale che determinano il modellamento di un paesaggio dai rilievi poco accentuati; questi fenomeni vengono favoriti da condizioni climatiche prima caldo-umide di tipo intertropicale e poi subaride di tipo steppico.

Tale modellamento dà luogo a quella che viene definita dal Demangeot (1965) *superficie sommitale*, successivamente smembrata in lembi dalla tettonica e dalla morfogenesi glaciale.

Infatti, in seguito ad un incremento del tasso di sollevamento, all'intensificarsi della tettonica estensionale, alle oscillazioni climatiche ed eustatiche, si osservano alternanze di unità erosive e deposizionali, incassate nella *superficie sommitale (superfici relitte)* ed organizzate in diversi ordini altimetrici (FARABOLLINI & NISIO - 1996), progressivamente decrescenti (DEFAURE *et al.* - 1988).

Ciascuna unità deposizionale è costituita da depositi di versante, depositi di conoide, depositi morenici, depositi alluvionali terrazzati o corpi di paleofrane, tra loro eteropici.

Ancora, in seguito all'aumento del tasso di sollevamento, all'intensificarsi della tettonica estensionale ed agli effetti delle variazioni climatiche in senso freddo, si osservano fenomeni di erosione lineare che determinano l'impostazione di un reticolo idrografico fortemente inciso, caratterizzato da strette valli nelle aree più interne e da vallate più ampie nelle aree esterne.



Nel settore esaminato si osserva, quindi, una decisa relazione fra tettonica e morfologia attuale: ad esempio, il reticolo idrografico, è considerevolmente influenzato dalle faglie dirette su cui generalmente si impostano i corsi d'acqua anche minori; inoltre, a volte si possono osservare brusche variazioni della direzione dei corsi d'acqua (gomiti fluviali). Nella genesi delle morfologie calanchive, molto diffuse nell'area, assume particolare importanza l'esistenza di discontinuità quali faglie e fratture. I movimenti gravitativi si sviluppano molto spesso in corrispondenza di zone interessate da dislocazioni tettoniche.

Nella zona in esame, esiste quindi una notevole correlazione tra tettonica e morfologia del territorio, in particolare con il recente sollevamento regionale (dinamica tettonica particolarmente attiva durante il Pleistocene inferiore ed estesa a tutta la regione). Il progressivo e rapido sollevamento ha favorito l'erosione lineare, che ha creato alvei fluviali profondamente incisi con valli a "V", strette ed incassate.

Contemporaneamente si risentono gli effetti delle fasi tettoniche distensive del Quaternario, che hanno creato un mosaico di blocchi dislocati per faglie, determinando l'assetto morfostrutturale del settore e l'andamento dell'attuale reticolo idrografico.

Nell'area sono state individuate diverse faglie riconducibili essenzialmente a due sistemi con direzioni N40°-60°W e N30°-40°E (NISIO *et al.* - 1997). Al primo appartengono quattro faglie dirette su cui sono impostati il Torrente Piomba, il Fosso del Gallo, la bassa Valle del Fino e la bassa valle del Torrente Calvano, dove troviamo infatti dei *vulcanelli di fango* (indicatori di fratture tettoniche). Il secondo comprende faglie dirette presenti soprattutto nella destra idrografica della bassa valle del Vomano ed in quella del Fino. I blocchi fagliati hanno subito tassi di sollevamento differenti. La zona compresa tra il fiume Vomano ed il Tavo è quella che si è sollevata maggiormente. Essa risulta a sua volta divisa in blocchi minori, in cui quello centrale (tra il Piomba ed il Fosso del Gallo, su cui sorge Atri) è quello che ha subito il maggior sollevamento.

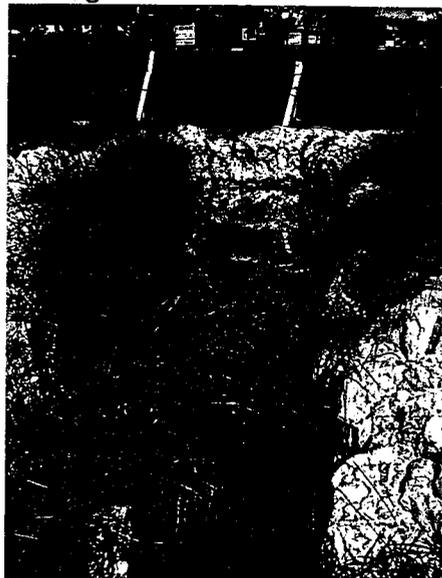
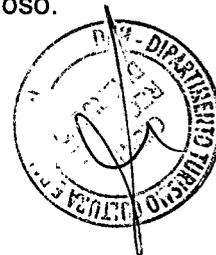


Foto A.3.1 - Vulcanello di fango nel bacino del Torrente Calvano. (C. Crocetti).

L'attività tettonica descritta è testimoniata dalle vistose anomalie del reticolo idrografico, che presenta brusche deviazioni, gomiti e catture dei corsi d'acqua, dagli allineamenti dei vulcanelli di fango e da anomale concentrazioni di fluidi gassosi nel sottosuolo lungo queste direttrici.

Nelle paleospiegate della zona tra Atri e Silvi si individuano due sistemi di faglie connessi al sollevamento complessivo del settore costiero iniziato durante il Pliocene medio-inferiore. Il sistema più vistoso ha rigetti verticali dell'ordine di 50 metri, un andamento all'incirca N-S ed è presente soprattutto nei dintorni di Atri. Si suppone che queste deformazioni rigide siano la risposta al sollevamento regionale che ha interessato tutto il settore costiero. Le fratture sarebbero impostate sulla copertura plio-pleistocenica che si adatta ai movimenti delle formazioni più antiche che ricopre (PAREA, VALLONI - 1983).

Limitandoci a considerare solo i movimenti tettonici più recenti, la zona in esame possiede una storia tettonica, che ha sicuramente influenzato l'impostazione del reticolo idrografico ed in generale la morfologia del territorio, fratturando il substrato geologico argilloso.



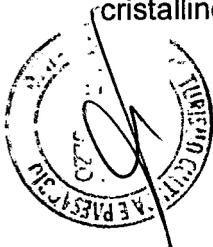
A.4 Litostratigrafia

In questo paragrafo vengono descritte le successioni litologiche delle tre *Formazioni* che affiorano tra la zona pedemontana e la costa adriatica, così suddivise a partire dalla zona più interna verso la costa: *Formazione della Laga*, *Formazione Cellino* e *Formazione Mutignano*. Verranno inoltre descritte le caratteristiche dei depositi continentali.

- La *Formazione della Laga* (Messiniano – Pliocene inferiore basale) rappresenta la sedimentazione torbiditica di avanfossa messiniana; in essa si individuano tre membri principali: *pre-evaporitico*, *“evaporitico”* e *post-evaporitico*. Nel complesso, l'evoluzione della sedimentazione è caratterizzata da una diminuzione verso l'alto della granulometria, dello spessore degli strati e del rapporto sabbia/argilla (RICCI LUCCHI - 1975).

Nel sub-bacino occidentale, ad Ovest della dorsale Montagna dei Fiori – Montagnone, affiorano i due membri più antichi, *pre-evaporitico* ed *“evaporitico”*, mentre nel sub-bacino esterno, ad Est di tale dorsale, affiorano tutti e tre i membri della *Formazione della Laga*. In particolare, i tre membri possono essere così differenziati:

- Il *Membro pre-evaporitico* è costituito alla base da strati, banchi e grossi banchi di arenarie più o meno cementate, tipiche di apparati deposizionali ad alta efficienza (MUTTI e RICCI LUCCHI - 1981). Le arenarie presentano una generale diminuzione della granulometria procedendo dal basso verso l'alto con intercalazioni, a diverse altezze stratigrafiche, di argille e marne in strati generalmente medio-sottili. Seguono circa 1000 m di depositi non canalizzati di piana sottomarina e di lobo di conoide che diventano via via più fini e distali sia verso sud che verso l'alto.
- Il *Membro “evaporitico”*, eteropico della *Formazione gessoso-solfifera* del Messiniano medio (CENTAMORE *et al.* - 1992), è caratterizzato da un orizzonte guida gessoso torbiditico depositosi in ambiente euxinico. Nelle aree più settentrionali (da Folignano a Garrufo), tale membro è rappresentato da facies arenacee canalizzate che passano, verso SSE, a depositi non canalizzati. In particolare, da Teramo fino a sud del Fiume Vomano, questo membro è costituito da facies di lobo e di piana sottomarina che diventano sempre più fini nei dintorni di Pretara – Castelli. Tra Castelli e Rigopiano, nella parte superiore del *Membro “evaporitico”*, sono intercalati orizzonti a megabrecce carbonatiche, costituite da clasti calcarei delle successioni del Gran Sasso che si assottigliano verso nord, passando a calcareniti laminate.
- Il *Membro post-evaporitico* ha uno spessore di circa 1500 m; esso è rappresentato da depositi non canalizzati di lobo e piana sottomarina, tipici di apparati a bassa efficienza. La successione è costituita da un'associazione pelitico-arenacea entro cui sono intercalati, a diverse altezze stratigrafiche, orizzonti arenaceo-pelitici ed arenacei. Le paleocorrenti misurate denotano un generale senso di scorrimento nel bacino da NNW a SSE. Nella parte superiore di tale membro si intercalano un orizzonte guida vulcanoclastico riodacitico, datato circa 6 Ma e, più in alto, alcuni sottili livelli di calcari micritici (CENTAMORE *et al.* - 1993). Nella parte più meridionale del bacino, nella porzione sommitale, si rinvengono dei conglomerati poligenici, costituiti anche da elementi estranei alle successioni locali (rocce cristalline e metamorfiche ed elementi del *complesso ligure*). Le misure di



paleocorrenti indicano un apporto da W e SW con successivo smistamento verso NNW; questi conglomerati sembrano quindi appartenere ad un apparato di conoide sottomarina allo sbocco di un canale alimentatore trasversale.

Nel Pliocene inferiore il bacino della Laga viene coinvolto dall'orogenesi appenninica passando da un dominio di avanfossa ad uno di bacino satellite. Nelle zone più settentrionali si passa quindi dalle torbiditi del *Membro post-evaporitico* alle *Marne del Vomano* (Pliocene inferiore) che rappresentano facies pelitiche di scarpata. Questa unità è costituita da marne argillose e argille marnose grigiastre, con rare intercalazioni di orizzonti pelitico-arenacei.

- La *Formazione Cellino* affiora marginalmente nella porzione più occidentale dell'area. I depositi torbiditici del bacino del Cellino si rilevano tra il Fiume Vomano a nord (sono stati però rinvenuti nel sottosuolo fino all'altezza di Bellante) ed il Fiume Pescara a sud; ad est sono ricoperti dai sedimenti del ciclo plio-pleistocenico. Nel bacino del Cellino è presente una successione sedimentaria che viene suddivisa (CENTAMORE *et al.* - 1991, 1993), dal basso verso l'alto, in:

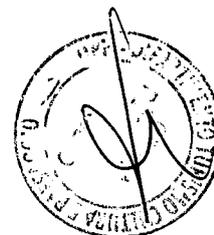
- *Marne emipelagiche* (Messiniano superiore – Pliocene basale) che indicano una sedimentazione di avampaese. Sono costituite da marne siltose con rare e sottili intercalazioni sabbiose che giacciono al di sopra della *Formazione gessoso-solfifera*. Nella parte sommitale è intercalato un orizzonte di conglomerati poligenici litologicamente simili a quelli presenti nella parte superiore della *Formazione della Laga*. Sopra i conglomerati si sviluppano 200 m di argille del Pliocene inferiore a *Sphaeroidinellopsis*.
- *Formazione Cellino* (Pliocene inferiore): è costituita da depositi torbiditici che si sedimentano nella nuova avanfossa. A sua volta questa unità può essere suddivisa in tre membri principali:

Un *membro basale*, costituito per circa 100 - 200 m da un orizzonte arenaceo-pelitico con rapporto sabbia/argilla che aumenta verso l'alto (CENTAMORE *et al.* - 1993). Superiormente si osservano depositi arenacei, in strati spessi e molto spessi, per uno spessore di circa 750 - 800 m; tali depositi rappresentano un episodio di sovralimentazione torbiditica nello stadio iniziale di avanfossa.

Un *membro intermedio* pelitico-arenaceo che passa superiormente a sedimenti pelitici (apparati a bassa efficienza) con intercalazioni, a diverse altezze stratigrafiche, di corpi arenaceo-pelitici e arenacei a geometria pressoché tabulare.

Un *membro superiore* in cui si passa a peliti emipelagiche; all'interno di esse si rinviene un altro orizzonte arenaceo (corpo di Montefino), dello spessore di circa 200 - 250 m che rappresenta il colmamento di un nuovo e più orientale depocentro (CASNEDI - 1976, 1984)

- La *Formazione Mutignano* che affiora diffusamente nell'area, appartiene al ciclo plio-pleistocenico. Questa formazione si rileva nella fascia periadriatica ad est di Cellino Attanasio fino alla costa. Essa è discordante rispetto alla sottostante *Formazione Cellino*. La successione plio-pleistocenica è compresa tra un evento trasgressivo alla base ed un evento regressivo (*depositi di tetto*). La successione pliocenica presenta infatti una marcata lacuna stratigrafica, cui corrisponde una trasgressione di valore regionale, ascrivibile al Pliocene medio. I depositi trasgressivi affiorano in



corrispondenza dell'abitato di Cellino A. (443 m s.l.m.); essi risultano discordanti rispetto ai sottostanti depositi torbiditici appartenenti alla *Formazione Cellino*. In affioramento si osserva un complesso conglomeratico-sabbioso costituito da ciottoli arrotondati, prevalentemente calcarei, ben cementati e da arenarie ben cementate, caratterizzate da strutture quali laminazioni incrociate.

La *Formazione Mutignano* è costituita essenzialmente da argille grigio-azzurre a diverso tenore sabbioso-siltoso che indicano una sedimentazione emipelagica in ambiente di piattaforma. I depositi pelitici presentano intercalazioni, a diverse altezze stratigrafiche, di orizzonti pelitico-arenacei, arenaceo-pelitici e, nella porzione basale, conglomeratici. I depositi della *Formazione Mutignano* presentano una immersione verso NE e debole pendenza (10°-15°). Ad est di Atri, invece, si riscontra una immersione degli strati verso ENE ed una pendenza a volte ancora minore (tra 6° e 10°).

Nella *Formazione Mutignano* è possibile distinguere le seguenti associazioni litologiche:

- Argille grigio-azzurre: si presentano come argille massive, a luoghi più marnose, a frattura concoide; a volte possono essere stratificate, con strati non inferiori a 8 - 10 cm, a cui si intercalano sottili lamine di sabbia a granulometria medio-fine o silt, di spessore dell'ordine del millimetro
- Associazione di peliti laminate: è costituita da fitte alternanze di argilla grigio-azzurra e di sabbia o silt di color giallo-arancio, a laminazione piano-parallela. I livelli pelitici presentano spessori fino ad un massimo di 2 cm; le lamine di sabbia o silt hanno spessori dell'ordine del millimetro.
- Associazione pelitico-conglomeratica: è presente nella parte bassa della successione; essa affiora ad est di Cellino Attanasio. È costituita da sedimenti pelitici, cui si intercalano corpi arenacei e conglomeratici di notevole spessore. I depositi conglomeratici si presentano o in singoli orizzonti di spessore dai 20 ai 50 m circa, oppure in corpi lentiformi intercalati in argille massive o in depositi pelitico-arenacei o arenaceo-pelitici. I ciottoli si presentano a spigoli arrotondati, eterometrici, di dimensioni variabili da circa 4 cm a 10 - 15 cm, immersi in matrice sabbiosa. Dall'analisi delle geometrie, questi conglomerati sono stati interpretati come riempimento di canali che incidevano la piattaforma marina. Lo spessore massimo rilevato è di circa 200 m.
- Associazione pelitico-arenacea: è costituita da strati di argilla di spessore dai 2 cm ai 10 cm circa, alternati a livelli di sabbia di spessore massimo pari a 1 - 3 cm; il rapporto sabbia/argilla è comunque sempre inferiore all'unità. La sabbia si presenta solitamente poco o affatto cementata, di colore giallo ocra. Questa associazione si alterna, a diverse altezze stratigrafiche, alle argille massive ed alle peliti laminate e, a luoghi, con l'associazione arenaceo-pelitica.
- Associazione arenaceo-pelitica: tale associazione affiora soprattutto lungo il Torrente Piomba e ad ovest di Atri. È caratterizzata da un rapporto sabbia/argilla maggiore di 1. Lo spessore dei singoli strati di sabbia e di argilla è molto variabile, soprattutto nel caso delle sabbie che si presentano in strati da pochi centimetro di spessore fino all'ordine del metro; anche il grado di cementazione della sabbia varia da luogo a luogo.





Foto A.4.I - Gli spessi strati di depositi argilloso-sabbiosi plio-pleistocenici su cui si impostano le morfologie calanchive. Si notano delle stratificazioni corrispondenti a strati dai diversi tenori di sabbia. (C. Crocetti)

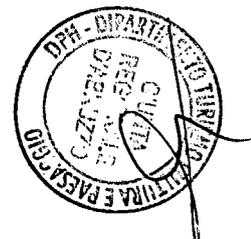
■ I depositi di tetto (*cap rock*), geneticamente legati al sollevamento generalizzato della fascia periadriatica marchigiano-abruzzese, sono costituiti da depositi costieri

pleistocenici; si presentano in corpi tabulari sabbiosi e conglomeratici, con scarsa o assente frazione siltosa, e con spessori variabili da 10 a 70 m. Essi affiorano sulle creste delle dorsali periadriatiche nei punti topograficamente più elevati, presentando una debole immersione verso E. I depositi regressivi si rilevano estesamente ad Atri e, ancora, a Mutignano, Torre Soldato e Colle Morino. Una buona sezione si osserva in corrispondenza dell'abitato di Atri (444 m s.l.m.), dove i depositi pleistocenici raggiungono uno spessore fino a circa 70 m. Nella parte sommitale, sono costituiti da conglomerati cementati; i ciottoli si presentano solitamente senza alcuna distribuzione regolare. Nelle "grotte" di Atri, di origine antropica, scavate nei conglomerati si può osservare una distribuzione non ordinata di ciottoli arrotondati cementati, di dimensioni abbastanza omogenee, di



Foto A.4.II - Depositi di tetto in loc. Colle della Giustizia nella Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. (A. Cavaglià).

circa 10 – 15 cm di diametro. A contatto con questo orizzonte, verso il basso, vi sono arenarie a granulometria da fine a media che, a luoghi, includono lenti di materiale ghiaioso e sabbia grossolana, come si osserva al di sotto della città di Atri. Presso Mutignano i depositi di tetto presentano uno spessore inferiore rispetto al corpo di Atri; le arenarie, di color giallo ocra, sono ben cementate.



A Colle Morino i depositi conglomeratici risultano invece dislocati e basculati verso SW in seguito all'azione di una faglia diretta, a direttrice appenninica, che segue all'incirca l'allineamento del Torrente Calvano.

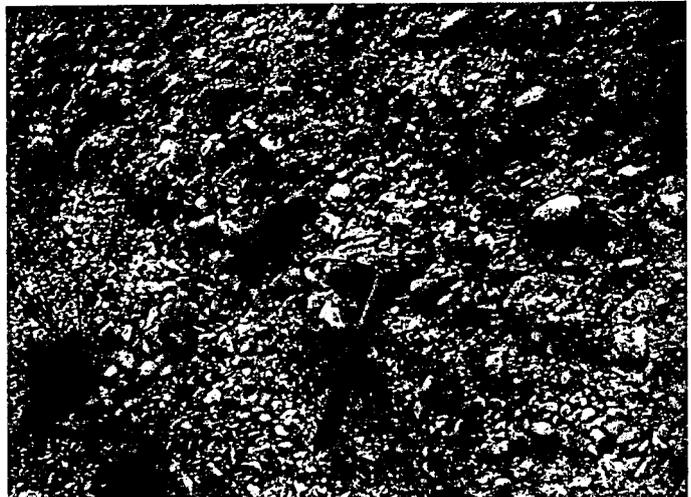


Foto A.4.III - Particolare dei depositi di tetto della foto precedente. (A. Cavaglià).

■ I depositi continentali possono essere così suddivisi:

- Depositi eluvio-colluviali: il disfacimento del substrato, in seguito all'azione degli agenti esogeni, di fenomeni fisici e biologici, determina la produzione di un terreno che può rimanere in posto (*eluvium*) oppure può subire trasporto da parte delle acque (*colluvium*).
- Detrito di versante: è costituito da materiale grossolano ciottoli calcarei ed arenacei, proveniente dalla degradazione dei depositi conglomeratici trasgressivi e regressivi e dalle alluvioni terrazzate. Le caratteristiche mineralogiche del detrito dipendono quindi dalle unità litologiche di provenienza.
- Alluvioni terrazzate: I depositi alluvionali terrazzati possono corrispondere sia a periodi di scarsa attività erosiva, probabilmente legata a fasi climatiche fredde, sia a periodi di alluvionamento, con conseguente deposizione di ghiaie, sabbie e limi in proporzioni diverse. I gradini che collegano i diversi ordini di terrazzo, indicano invece una ripresa dell'attività erosiva probabilmente connessa a fasi climatiche calde e quindi ad un incremento dell'energia del corso d'acqua. Generalmente i depositi alluvionali terrazzati si distinguono in quattro ordini. Questi sono conservati meglio in sinistra idrografica dei corsi d'acqua, mentre in destra si presentano soprattutto in lembi; ciò è legato probabilmente ad una migrazione verso sud dell'alveo dei fiumi e, quindi, ad una parziale erosione dei depositi terrazzati situati in destra idrografica. I terrazzi alluvionali più antichi (I e II ordine) si rilevano generalmente in lembi; i terrazzi relativamente più recenti (III e IV ordine) raggiungono superfici via via più estese. Al di sotto dei terrazzi di IV ordine si rilevano le alluvioni recenti, depositi grossolani costituiti da ciottoli arrotondati, sabbie e limi, trasportati dai fiumi e depositati in tempi attuali.



A.5 Geomorfologia

Nell'area in esame i fenomeni geomorfologici più diffusi e rilevanti sono costituiti dalle *superfici a calanchi e forme similari*, che caratterizzano fortemente il paesaggio.

Molto frequenti risultano in generale i fenomeni di erosione dei corsi d'acqua. Diffuse sono le forme di *erosione concentrata*, soprattutto nel T. Piomba e nel suo principale affluente (F.so del Gallo), nella parte alta del F.so del Concio e, più raramente, nel T. Calvano e nel F.so Cerrano. Fenomeni di *erosione laterale* delle scarpate fluvio-torrentizie sono presenti soprattutto nel T. Piomba.



Foto A.5.I - Calanchi nella Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. (C. Crocetti).



Foto A.5.II - Versante interessato da forme di erosione concentrata (*rill erosion*). (C. Crocetti).

Troviamo inoltre *alvei in approfondimento*: in particolare nella parte alta del F.so Cerrano, in alcuni affluenti del T.Piomba e del T. Calvano ed in alcuni dei fossi minori Nord.

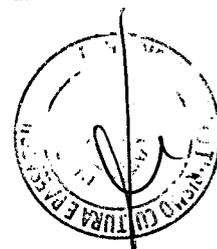
Largamente presenti sono anche i solchi di erosione concentrata (*rill erosion*) ed i fenomeni di erosione diffusa (*dilavamento diffuso*) lungo i versanti, causati dallo scorrimento delle acque meteoriche e spesso favoriti dalle attività agricole.

Le forme collinari dolci e debolmente incise tipiche della fascia periadriatica, risultano quindi in questo settore estremamente movimentate dalle morfologie erosive causate dalle acque superficiali. L'azione di questo agente morfogenetico è fortemente favorita dalla litologia del substrato. I depositi argillosi-sabbiosi marini hanno bassissima permeabilità e quindi il ruscellamento, nettamente superiore all'infiltrazione, innesca le dinamiche erosive sopra esposte.

Insieme ai processi erosivi dovuti allo scorrimento delle acque superficiali troviamo diversi movimenti franosi di tipi gravitativo.



Foto A.5.III - Versante interessato da forme di dilavamento diffuso. (C. Crocetti).



Si tratta di due agenti morfogenetici che agiscono spesso in maniera congiunta, influenzandosi a vicenda.

Movimenti di *scorrimento rotazionale* e versanti interessati da *deformazioni superficiali lente* (*creep*, *soliflussi*, *geliflussi*) sono particolarmente diffusi e si sviluppano in aree generalmente poco acclivi.

I movimenti di soliflusso coinvolgono l'orizzonte di massima

infiltrazione e saturazione dell'acqua, fino a 0,5-1 m di spessore, interessando soprattutto i materiali che compongono le coltri eluvio-colluviali. Si manifestano con tipiche ondulazioni di

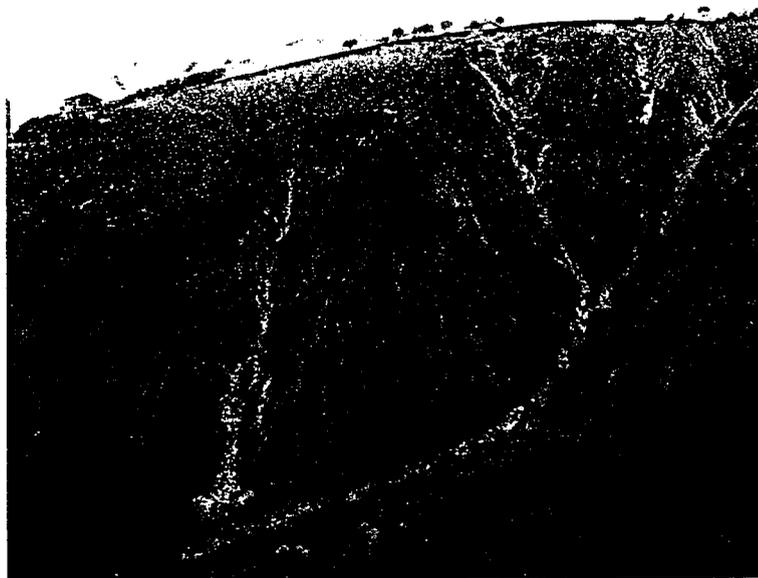


Foto A.5.V - Colate di fango (C. Crocetti).

ampio raggio e mancano sempre, sia di un vero e proprio ciglio di distacco, sia di evidenti rotture sul terreno; hanno quindi limiti sfumati e non individuabili con precisione. Sono inoltre presenti corpi di frana di *colamento* (in particolare nella parte alta del T. Piomba) e qualche raro fenomeno di *scorrimento traslativo* (nel T. Calvano e nel T. Piomba, di cui uno nell'area della Riserva). Le frane di colamento sono tipiche dei depositi argillosi plio-pleistocenici. La massa franosa assume l'aspetto di un fluido molto viscoso, che può interessare i primi 2-4 metri di spessore, ma spesso è limitato al suolo agricolo.

Troviamo infine un corpo di frana dalla *genes* complessa a nord di Villa Bozza (Atri) in località Fontana, un corpo di frana da *crollo/ribaltamento* a sud di Atri in località Ancellera ed un versante interessato da deformazione gravitativa profonda in località Colle Morino (Pineto).

Le sabbie e i conglomerati pleistocenici di tetto pur avendo migliori caratteristiche geomeccaniche rappresentano depositi altamente erodibili e sfettabili nelle aree sovrastanti le forme calanchive. Il processo di arretramento dei cigli calanchivi erode il piede dei corpi tabulari sabbiosi-ciottolosi, che quindi risultano soggetti a crolli.

Il quadro dei fenomeni geomorfologici presenti è completato da innumerevoli piccole *frane* o *gruppi di piccole frane non classificate* che interessano tutto il territorio in esame. Pur rappresentando fenomeni di piccola entità, tali frane possono interagire notevolmente con insediamenti ed infrastrutture antropiche, in particolare con la rete stradale.

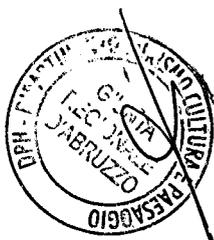


Foto A.5.VI - Esempio di piccola frana non classificabile che interagisce con la viabilità stradale. (C. Crocetti).



Foto A.5.VII - Altro esempio di frana su scarpata stradale . (C. Crocetti).

La Carta Geomorfologica del Piano Territoriale Provinciale segnala nell'area anche la presenza di estesi movimenti di versante molto lenti (1-2 cm/anno)⁵, che interessano spesse coltri detritiche limo-argillose (tra 10 e 30 metri di spessore)⁶ sopra substrati argillosi marnosi plio-pleistoceniche. Sono assimilabili al movimento di una piastra su un piano inclinato, con la superficie di rottura che si trova nella parte alterata del basamento, subito sotto il letto della coltre. I movimenti sono stagionali perché legati alle variazioni delle pressioni neutre, ma "permanenti nel tempo" (BERTINI - 1987). Si verificano nei periodi di piovosità prolungata e quasi mai a causa di piogge intense di breve durata.

Questi lenti movimenti non presentano nessuna delle caratteristiche che si possono spesso trovare in altri fenomeni franosi su pendii argillosi (cigli di distacco, crepe nel terreno, contropendenze localizzate del versante, ecc.). L'unica manifestazione sono ampie e blande ondulazioni sul pendio, non sempre facilmente interpretabili (si possono confondere con soliflussi, che interessano spessori minori di materiale). Vista la difficoltà nell'individuare tali fenomeni (limiti sfumati e basse velocità di movimento) non è escluso che ve ne possano essere degli altri nell'area.

Data l'estrema lentezza, influiscono in maniera trascurabile sull'evoluzione morfologica del paesaggio. Gli effetti sugli edifici di piccole dimensioni che insistono sui versanti argillosi sono modesti o del tutto assenti. I casolari di campagna si muovono in "solido" con ampie porzioni di versante, subendo impercettibili traslazioni insieme alla coltre dove poggiano, senza che la continuità e la stabilità della struttura sia compromessa. Danni gravi si possono osservare solo nel caso di costruzioni ubicate poco a valle dei displuvi, nella fascia di passaggio tra la zona stabile e quella instabile.

⁵ BERTINI T. (1987).

⁶ Ibidem.



Alcuni dei movimenti la cui presenza è verificata, andrebbero monitorati perché potrebbero arrivare ad interessare gli abitati presenti sopra di essi. Individuarne la presenza appare necessario nel caso di realizzazione di opere di ingegneria importanti da realizzare sui versanti (strade ed impianti produttivi) o anche di piccoli edifici o opere da realizzare sui displuvi.

Il Piano Territoriale Provinciale dà anche delle indicazioni sulle dinamiche costiere. Dei circa 15 km di costa sottesi dal bacino regionale del T. Piomba, 8 km risultano in arretramento (di cui circa 2 km difese da opere costiere) e 7 km risultano stabili. Il trasporto solido lungo riva risulta prevalente verso sud nel tratto di costa compreso tra il F. Vomano ed il F.so Foggetta e verso nord nel tratto tra il T. Piomba ed il F.so Cerrano. Nel tratto tra il F.so Foggetta ed il F.so Cerrano il trasporto sedimentario risulta nullo.

Il quadro degli agenti morfogenetici che agiscono nell'area è completato dalle attività antropiche che in questa situazione di fragilità strutturale possono favorire ed innescare i processi di erosione (sbancamenti per l'apertura o l'allargamento di strade, attività agricole intense, taglio di vegetazione, ecc.).

A.6 Morfologie calanchive

Nel settore collinare ariano sono di particolare interesse le diffuse e complesse forme di erosione calanchiva.

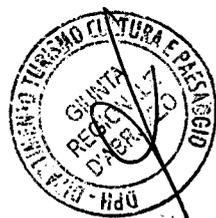
I geotopi calanchivi sono il risultato di lente dinamiche morfogenetiche, scaturite da un complesso intreccio di fattori geologici, strutturali, climatici ed anche antropici.

Nel settore periadriatico settentrionale abruzzese sussistono tutte le condizioni litologiche, strutturali e climatiche necessarie alla formazione delle morfologie calanchive. La tipologia e la concentrazione dipendono, in maniera sostanziale dall'ambiente di deposizione, dai caratteri geotecnici e dallo stadio morfoevolutivo delle diverse zone. Nella zona in esame rappresentano un tratto caratteristico del paesaggio.

Nel settore settentrionale della fascia periadriatica abruzzese i calanchi insistono soprattutto sulla *Formazione di Mutignano*, che sembra la più sensibile per posizione e caratteristiche strutturali e mineralogiche allo sviluppo di tali morfologie (Tab. A.6.1).

| Formazione | Area in affioramento (kmq) | Area a calanchi (kmq) | Area calanchi/Area formazione (%) | Area a calanchi (%) |
|------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Laga | 175.8 | 9.5 | 5.4 | 26.7 |
| Cellino | 126.0 | 1.5 | 1.2 | 1.7 |
| Mutignano | 363.6 | 27.8 | 7.7 | 71.6 |

Tab. A.6.1 - Distribuzione dei calanchi secondo le formazioni litologiche presenti nel settore settentrionale della fascia periadriatica abruzzese (da NISIO *et al.* - 1997).



Nell'area di studio le superfici a calanchi interessano i bacini del T. Piomba, del T. Calvano e del F.so Cerrano, raggiungendo in quest'ultimo la maggior densità superficiale (Tab. A.6.II).

| Bacino | Area bacino (kmq) | Area a calanchi (kmq) | Area a calanchi/ Area bacino (%) |
|--------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| T. Piomba | 107,5 | 7,3 | 6,8 |
| T. Calvano | 35,5 | 2,6 | 7,2 |
| F.so Cerrano | 15,7 | 1,3 | 8,2 |

Tab. A.6.II - Distribuzione dei calanchi nell'unità idrografica in esame.

Possiamo definire i calanchi come drenaggi densi e gerarchizzati, formati da profonde incisioni su substrati argillosi e con displuvi stretti e affilati (DRAMIS *et al.* - 1982). I calanchi, separati da creste di argilla, si dispongono di solito a gruppi, organizzati in sistemi di vallecule minutissimi confluenti in alvei maggiori. (CASTIGLIONI - 1979).

Quando si formano dei solchi in terreni argillosi (*rill erosion*), l'erosione rapidamente si accentua, le incisioni si approfondiscono e si allungano a ritroso, ramificandosi e moltiplicandosi. Questo fenomeno può estendersi ad interi versanti, cosicché questi vengono profondamente suddivisi da una rete di vallecule, separate da strette creste, con microversanti nudi in rapida evoluzione (*gully erosion*).

L'erosione superficiale delle acque di ruscellamento è molto intensa e rappresenta l'agente morfogenetico principale, anche se quello gravitativo concorre in misura non trascurabile al fenomeno.

Le precipitazioni meteoriche, a causa della bassissima permeabilità dei terreni limoso-argillosi, alimentano essenzialmente il ruscellamento superficiale e, solo in misura molto ridotta, l'infiltrazione nel sottosuolo. La pioggia asporta le lamelle di argilla staccate dal disseccamento e le trasporta in sospensione. Questa situazione conferisce all'acqua una notevole capacità di erosione, che tende ad approfondire il solco lungo l'asse delle vallecule.

Il regime termo-pluviometrico, caratterizzato da una piovosità concentrata nel periodo fine autunno-inizio primavera, con una lunga stagione estiva secca, favorisce il fenomeno. Queste condizioni climatiche, inaridiscono il suolo e fessurano lo strato superficiale, soprattutto nei versanti esposti a Sud. Questi sono infatti soggetti ad un più rapido disseccamento delle argille dopo le piogge, con conseguente formazione di scaglie superficiali, facilmente asportabili dalle successive precipitazioni. Lungo i versanti meridionali sono più sviluppati anche i fenomeni di fessurazione delle argille che favoriscono l'infiltrazione di acqua piovana. Le fessure, solitamente profonde dai 30 ai 60 centimetri, possono arrivare anche al metro di profondità ed influenzano la stabilità dei pendii. L'acqua si infiltra, determinando una circolazione ipodermica che tende a saturare gli orizzonti superficiali, fino alle profondità massime raggiunte dalle fenditure. In questo caso si possono attivare movimenti gravitativi che spesso assumono la modalità di colate di fango e mettono a nudo il substrato sottostante. Per contro, i versanti esposti a Nord, data la maggiore umidità, presentano solitamente una copertura vegetale più abbondante che determina una protezione del suolo, per cui i fenomeni erosivi sono meno accentuati.

Analisi sedimentologiche e geotecniche realizzate nella zona (D'ANGELO - 1991; ANSELMINI *et al.* - 1994; GRAUSO - 1994) permettono di classificare i materiali delle aree calanchive come argille marnose e sabbiose.



La scarsa vegetazione nelle aree calanchive viene considerata da diversi studiosi causa, ma anche effetto, delle morfologie calanchive. Questo assetto vegetazionale è legato sia a cause naturali che antropiche, queste ultime, soprattutto con i disboscamenti, contribuiscono ad alimentare i fenomeni di dissesto. I fenomeni calanchivi sono aggravati dall'azione di disboscamento subita da queste aree, come dimostrano recenti studi (RICCI, DE SANCTIS - 2004), ed in generale la copertura vegetazionale viene indicata come un elemento fondamentale.

Anche l'assetto giaciturale assume particolare importanza; solitamente i calanchi si impostano sui versanti che presentano giacitura del substrato a reggipoggio ovvero, nell'area in esame, in corrispondenza dei versanti esposti a Sud. Infatti, sui versanti a franapoggio (versanti settentrionali), l'azione delle acque può determinare una diminuzione delle resistenze di attrito lungo le superfici di discontinuità (quali le superfici di stratificazione) e, quindi, può causare scorrimenti del terreno.

In ogni caso, i versanti settentrionali, presentano generalmente una pendenza relativamente bassa, condizione non ideale per la formazione dei calanchi. Viceversa, se la giacitura è a reggipoggio, la struttura offre una resistenza migliore; il versante di testata viene eroso alla base e mantenuto ripido, per cui le acque piovane possono generare un'erosione a solchi che può favorire la formazione dei calanchi.

Da ciò si deduce che un'altra condizione importante per la genesi dei calanchi è l'acclività dei versanti: pendenze troppo basse determinano generalmente un colamento lento del terreno; su versanti eccessivamente acclivi, l'acqua dilavante può avere scarsa presa e, inoltre, potrebbero instaurarsi fenomeni franosi in seguito all'elevata acclività.

Non mancano eccezioni alla distribuzione prevalente. Sui versanti esposti a Nord è possibile rintracciare forme attive o parzialmente attive e calanchi in parte o completamente inerbiti.

Nei fondovalle dei solchi calanchivi si trovano spesso coltri di depositi colluviali e gravitativi che possono produrre colate di limo e argille fino alla confluenza con il canale principale. La granulometria dei depositi di materiale nel tratto finale è prevalentemente sabbiosa-limosa, in quanto la rete idrografica insiste in un ambito di terreni argillosi ed in parte sabbiosi, che genera sedimenti a granulometria fine.

A.6.1 Genesi delle morfologie calanchive

Lo studio delle morfologie calanchive è stato affrontato con diversi approcci: geologico, geomorfologico, geotecnico e geografico. La letteratura sul tema è molto ampia ed indaga soprattutto le cause ed i parametri che influenzano il fenomeno.

Lo studio dei fattori che portano alla genesi di morfologie calanchive, delle loro reciproche interazioni e della loro incidenza relativa, è oggetto di disputa e ricerca scientifica.

Secondo Castiglioni (1933) lo sviluppo dei calanchi sarebbe



Foto A.6.1.I - Tratto di un affluente del T. Calvano in cui si nota chiaramente l'asimmetria valliva. (C. Crocetti).



condizionato, soprattutto dalla giacitura degli strati, che immergono verso NE nel versante adriatico dell'Appennino. I calanchi si imposterebbero sui versanti a reggipoggio, caratterizzati da maggior pendenza, meno predisposti ai movimenti di massa, ma sede di erosione superficiale. La diversa disposizione stratigrafica dei versanti dei corsi d'acqua, causa diverse condizioni di resistenza meccanica alle sollecitazioni, provocando una caratteristica e frequente asimmetria valliva. I versanti a reggipoggio subiscono un continuo processo di ringiovanimento che ha il risultato più spettacolare proprio nei calanchi. I versanti opposti a franapoggio possono essere sede di movimenti superficiali e lente colate.

Per Passerini (1937) è l'esposizione a favorire la formazione di calanchi. Temperature, escursioni termiche e aridità maggiori nei versanti meridionali favorirebbero l'erosione idrometrica e quindi la creazione di calanchi. Tali versanti, grazie al loro minor contenuto d'acqua, risulterebbero inoltre più stabili a parità di pendenza e quindi più adatti alla formazione di sistemi calanchivi. Gli studi di Panicucci (1972) sulla base di esperimenti con casse lisimetriche confermano la preponderanza del fattore microclimatico. Per Lulli & Ronchetti (1973) l'esposizione gioca un ruolo fondamentale nella creazione di profonde fratture di disseccamento, ma lo stesso Lulli (1974) sostiene che un vincolo strutturale è indispensabile alla genesi di formazioni calanchive.

Anche il fattore macroclimatico ha la sua importanza e, secondo Dramis et alii (1982), è fondamentale nell'attivazione dei processi calanchivi. L'Italia centro meridionale è caratterizzata da un clima umido, ma anche da una stagione asciutta sufficientemente lunga, il che favorirebbe i processi di alterazione superficiale. A seguito di eventi meteorici consistenti, si possono instaurare movimenti di massa traslazionali lungo superfici predisposte. Lo stato superiore alteritico può saturarsi d'acqua e scivolare, insieme alla copertura vegetale, lungo la superficie di separazione dal substrato; mettendo a nudo le argille sottostanti. Eventi piovosi intensi e prolungati nel tempo possono denudare completamente i versanti che diventano sede di erosione per ruscellamento diffuso. Ai fenomeni superficiali possono associarsi anche fenomeni più profondi che coinvolgono il substrato argilloso. Si creano quindi nicchie di distacco sulle quali può facilmente impostarsi un fitto reticolo drenante che l'azione delle acque superficiali, contribuisce ad approfondire ("protocalanchi").

Lo stesso Dramis afferma che l'attivazione e lo sviluppo dei calanchi è fortemente influenzato dall'azione antropica, soprattutto dall'esportazione della copertura vegetale. Il disboscamento, in particolare, sembra essere una causa determinante dell'aumento della diffusione e della grandezza dei calanchi già esistenti (arretramento delle testate). Uno studio recente basato su un'analisi diacronica dell'estensione delle superfici boscate e delle aree calanchive atriene confermano tali ipotesi (RICCI-DE SANCTIS, 2004). Il confronto

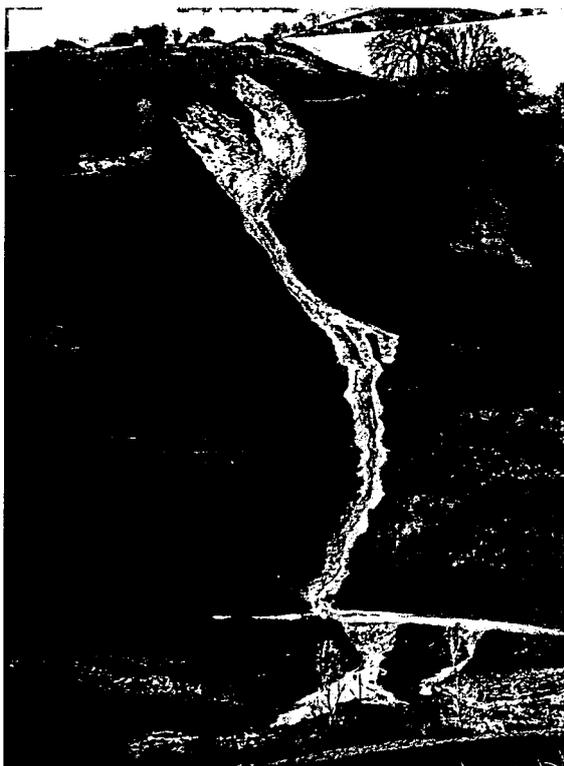


Foto A.6.1.II - 3 Fenomeno erosivo in un versante adibito a terreno agricolo. (C. Crocetti).



dell'estensione dei calanchi e della vegetazione rilevabile da foto aeree del 1954 e del 1994, sembrano indicare una proporzionalità inversa.

Cotecchia e alii (1963, 1966) e Del Prete e alii (1994) sono concordi nel dare importanza alla composizione granulometrica dei materiali. È necessaria la presenza contemporanea di una notevole frazione di materiale fino, che può andare in sospensione anche per basse capacità di trasporto dell'acqua e di una frazione di materiale sabbioso-limoso che conferisce una alta capacità di abrasione. Anche Veggetti (1967) afferma che la natura litologica e le caratteristiche granulometriche, in particolare il contenuto in sabbia, sono determinanti nella genesi di morfologie calanchive.

Vittorini (1964, 1977, 1979), Castelvechi & Vittorini (1967), Mazzanti & Rodolfi (1989), Sfalanga, et alii (1974) analizzano le proprietà fisiche, meccaniche e mineralogiche delle argille e le mettono in relazione a forme e caratteristiche diverse dei calanchi. Il basso tenore di minerali a reticolo espandibile e la presenza di minerali non argillosi, sono condizione necessaria, ma non sufficiente, per l'evoluzione morfologica del paesaggio verso i calanchi. L'acclività dei pendii è, secondo gli autori, una conseguenza, piuttosto che una causa dei calanchi.

Per Guerricchio & Valentini (1975) e Guasparri (1978) un fattore determinante è l'esistenza di un orizzonte di materiale più resistente e maggiormente permeabile sulla sommità del versante argilloso. Tale "cappello" (*cap-rock*) che chiude la successione stratigrafica, impedisce l'abbassamento dell'angolo di pendio, determinando acclività maggiori che predispongono il terreno ad un'erosione lineare. Il profilo del pendio assume in genere un andamento parabolico, con un'elevata pendenza in corrispondenza delle cornici litoidi, che diminuisce scendendo verso la base del calanco.

Guerricchio & Melidoro (1979, 1982), Chieco & Melidoro (1985) e Guerricchio (1988) legano il fenomeno dei calanchi alla tettonica, che si imposterebbero sui versanti acclivi di neoformazione. La mancanza di vegetazione e l'esposizione dei versanti non sono considerati elementi determinanti, anzi il primo sarebbe piuttosto un effetto del fenomeno erosivo.

Molti autori, tra cui Shepard (1954) Sfalanga e Alii (1972), Sfalanga & Vannucci (1975), Vittorini (1977), Pinna & Vittorini (1989) Del Prete & Valentini (1971), ritengono che la formazione dei calanchi sia favorita da terreni argillosi dotati di uno scheletro siltoso-sabbioso che rende i versanti più stabili, a parità di pendenza, rispetto ad argille con elevate frazioni di minerali espandibili. Argille più pure sarebbero soggette a comportamenti più plastici, che portano all'evoluzione dei versanti in forme più dolci e arrotondate, attraverso lenti movimenti di soliflusso e di frane di scivolamento.

Sdao e alii (1984) affermano che la formazione di biancane o calanchi sia controllata dalle condizioni fisiche e mineralogiche delle argille interessate. Terreni dotati di maggiore plasticità e di una componente argillosa più elevata, tenderebbero a modellare forme su pendii più dolci, come le biancane. Pendenze più elevate sarebbero invece tipiche di terreni con minore plasticità e maggiore componente sabbiosa.

Affascinante è l'ipotesi di Rodolfi & Frascati (1979) e Mazzanti & Rodolfi (1989), secondo cui i calanchi sono forme residuali di erosione che si sarebbero formati in condizioni climatiche più aride di quelle odierne, sviluppandosi inizialmente su tutti i versanti, indipendentemente dall'esposizione. Uno spostamento in senso umido del clima, avrebbe determinato l'attuale distribuzione di queste forme di erosione che si sarebbero conservate nei versanti meridionali, perché favorite dal contrasto climatico stagionale.



Farabollini e alii (1992) considerano fattori determinanti le caratteristiche meso e microstrutturali del substrato roccioso. Si può effettivamente riscontrare una corrispondenza tra creste e sistemi di fratturazione: le creste principali coincidono con la direzione del sistema di fratturazione parallelo al versante, mentre quelle secondarie sono orientate secondo tutti gli altri sistemi di fratture. Altra correlazione riscontrata dagli autori è quella tra maggiore percentuale di carbonato di calcio e forme più aspre dei calanchi.

Si comprende come i pareri sui fattori che influenzano la genesi calanchiva siano molti ed anche discordi, ma si può affermare che la concomitanza di più fattori riesca ad innescare il fenomeno.

Dramis e alii (1982), analizzando le ipotesi di diversi studiosi, ribadiscono che il processo che regola la creazione, lo sviluppo e la conservazione dei calanchi sia estremamente complesso ed i fattori determinanti assumono nello spazio e nel tempo diversa importanza. Stabilire quale sia quello di maggior peso è molto difficile, anche perché spesso sono concatenati ed in ogni singolo caso un fattore può prevalere rispetto agli altri.

Tali fattori si possono così riassumere sinteticamente:

- presenza di uno substrato argilloso con una discreta componente sabbiosa e caratteristiche geotecniche e mineralogiche definite;
- l'acclività del pendio, che favorisce il rapido deflusso delle acque meteoriche e la conseguente impostazione del reticolo di drenaggio;
- la giacitura a reggipoggio degli strati;
- l'esposizione dei versanti verso i quadranti meridionali più soleggiati;
- erosione al piede dei versanti ad opera dei corsi d'acqua;
- acclività di un versante che può essere geneticamente legata ad un fenomeno geodinamico, quale la presenza di una dislocazione tettonica, di una frana, oppure può essere connessa ad un rapido approfondimento dell'erosione lineare per cause tettoniche o climatiche;
- il regime climatico, caratterizzato da estati secche e lunghe e piogge intense concentrate in determinati periodo dell'anno;
- l'esistenza di livelli meno erodibili alla sommità del versante;
- l'attività antropica, in particolare le pratiche agricole e pastorali (soprattutto il calpestio degli animali) che tendono a diminuire la copertura vegetale ed a favorire l'innescio di processi erosivi.

A.6.2 Tipologie morfologiche

Le morfologie calanchive possono presentare caratteristiche differenti, riconducibili a tre tipologie denominate A,B,C.

I **calanchi di tipo A** sono i più numerosi nell'area di Atri. Si presentano con sottilissime creste (a *lama di coltello*) che separano vallecole con una forma a "V" fortemente incisa e disposte a spina di pesce. La pendenza delle creste può arrivare a 40°.

Questa tipologia di calanco si forma sui versanti con un'abbondante componente limosa. A metà pendio sono presenti alcuni orizzonti con una componente sabbiosa più elevata e quindi più resistenti all'erosione. Tali orizzonti danno luogo a pareti sub-verticali che interrompono la continuità morfologica dei profili calanchivi. L'azione erosiva delle acque di ruscellamento concentrato è il fenomeno erosivo dominante, che produce unità idrografiche con forme molto marcate, con un'alta densità di drenaggio, displuvi disposti a ferro di cavallo, ma con andamento rettilineo. La caratteristica forma a "V" del profilo trasversale testimonia il lavoro



delle acque di scorrimento superficiali. La testata delle formazioni di questo tipo è di solito piana e non concava.

I **calanchi di tipo B** presentano valli più ampie a fondo concavo e con displuvi non eccessivamente affilati. Nei litotipi su cui si impostano queste tipologie predomina la componente argillosa. I movimenti di massa presenti (*colamento* o *scivolamento traslazionale* e *rotazionale*) contribuiscono ad incrementare i processi erosivi, fino a diventare quelli dominanti.

Dopo eventi piovosi molto intensi, gli strati di alterazione possono scivolare lungo superfici preesistenti, mediante movimenti traslazionali, provocando il denudamento completo del versante.

In questi casi il pendio evolve con un arretramento parallelo del versante a causa di movimenti di massa in concomitanza degli eventi piovosi. La copertura vegetazionale su queste tipologie è solitamente meno

radica delle precedenti. Nell'area in esame sono i più diffusi, in accordo con le caratteristiche litologiche prevalenti delle superfici calanchizzate

Forma particolarmente spettacolare è quella dei **calanchi di tipo C**, che presentano pareti sub-verticali e sottili creste affilate (*canyon*) ed hanno una componente sabbiosa più elevata.

L'elemento che determina il prevalere di una forma su un'altra sembra essere il carattere compositivo dei terreni interessati. Nei calanchi di tipo B i terreni presentano una maggiore plasticità, caratteristica che trova conferma nella maggior percentuale di smectite nella composizione mineralogica. Plasticità ed espansibilità più pronunciata influenzano l'evoluzione di questi morfotipi che risultano quindi regolati soprattutto da fenomeni gravitativi (CROVATO & GRAUSO - 1999, D'ANGELO - 1991).

Uno studio condotto da Nisio, Prestininzi, Scarascia Mugnozza (1997) sul settore settentrionale della fascia periadriatica abruzzese analizza le caratteristiche fisiche dei materiali interessati da fenomeni calanchivi, con campioni prelevati in tutta l'area e suddivisi per le tre tipologie.

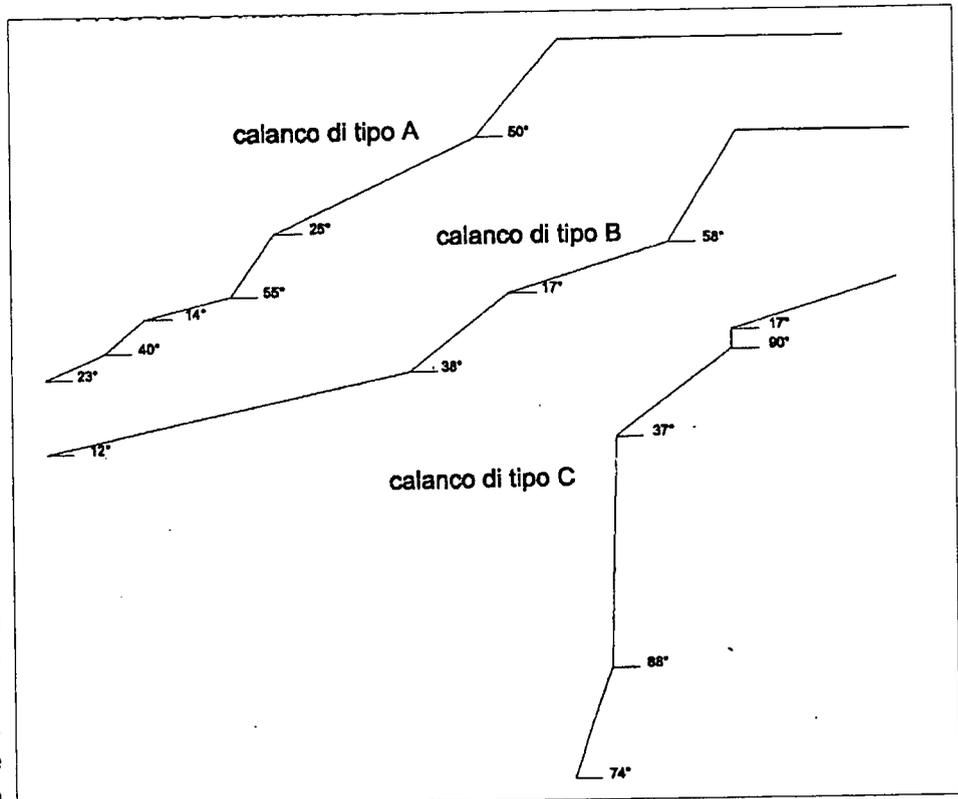


Fig. A.6.2.1 - Tipologia nel profilo dei calanchi di tipo A,B,C (NISIO et al. - 1997).



| Tipologia calanchi | LL % | LP % | IP % | Attività | Lis | Sabbia % | Limo % | <2φ % |
|--------------------|------|------|------|----------|------|----------|--------|-------|
| A | 40,9 | 23,6 | 15,8 | 0,5 | 2,75 | 6,8 | 62,8 | 30,4 |
| B | 44,6 | 26,0 | 29,2 | 0,49 | 2,75 | 4,1 | 57,1 | 38,8 |
| C | 37,8 | 24,0 | 13,0 | 0,62 | 2,71 | 12,5 | 59,8 | 26,3 |

Tab. A.6.2.II - Caratteristiche fisiche e granulometriche secondo le tipologie morfologiche (NISIO *et al.* - 1997).

Valori più bassi delle medie dell'indice di plasticità e della componente granulometrica argillosa nella tipologia A, sono dovuti alla presenza degli orizzonti più francamente sabbiosi che spezzano il profilo dei calanchi. Nel tipo B la componente argillosa aumenta e quindi anche l'indice di plasticità. Al contrario la minor percentuale della frazione argillosa nei calanchi di tipo C determina indici di plasticità che possono scendere anche sotto al 10% (con medie del 13%).

Dalle analisi mineralogiche risulta che il contenuto in carbonati è massimo nei calanchi di tipo C e minimo in quelli di tipo B.

I litotipi su cui si impostano i calanchi hanno una composizione mineralogica in cui prevalgono minerali inerti nei calanchi di tipo A e C e minerali argillosi in quelli di tipo B. Tra i minerali argillosi prevalgono illite e smectite.

| Tipologia calanchi | Carbonati |
|--------------------|-----------|
| A | 30,4% |
| B | 28,9% |
| C | 33,2% |

Tab. A.6.2.III - Percentuale carbonati secondo le tipologie morfologiche (NISIO *et al.* - 1997).

| Tipologia calanchi | Calcite | Quarzo | Dolomite | Feldspati | Minerali pesanti | Minerali argillosi |
|--------------------|---------|--------|----------|-----------|------------------|--------------------|
| A | 26,9 | 13,1 | 14,8 | 3,6 | 2,0 | 48,6 |
| B | 23,9 | 13,7 | 13,3 | 3,32 | 2,25 | 53,7 |
| C | 24,0 | 14,8 | 22,1 | 3,8 | 2,1 | 28,6 |

Tab. A.6.2.IV - Minerali non argillosi secondo le tipologie morfologiche (NISIO *et al.* - 1997).

| Tipologia calanchi | illite+smectite % | caolinite+clorite % |
|--------------------|-------------------|---------------------|
| A | 76 | 24 |
| B | 69 | 31 |
| C | 78 | 22 |

Tab. A.6.2.V - Minerali argillosi secondo le tipologie morfologiche (da NISIO *et al.* - 1997).

A.6.3 Aspetti mineralogici e chimico fisici delle argille

Le caratteristiche mineralogiche e fisico-chimiche delle argille spiegano molti dei comportamenti tipici di questi terreni.

Le argille sono composte da silicati d'alluminio idrati, organizzati in strati tetraedrici con al centro silicio (Si) ed ai vertici ossigeno, e strati ottaedrici con al centro alluminio (Al) ed ai vertici gruppi ossidrilici OH. Gli strati sovrapposti rimangono uniti grazie alla condivisione degli ossigeni dei tetraedri e gli OH degli ottaedri. Ne deriva una struttura microscopica fogliare, da cui deriva il nome mineralogico di Fillosilicati (dal greco *phylon* = foglia). Nella formazione degli strati possono avvenire molte sostituzioni isomorfe del Si dei tetraedri con l'Al, e dell'Al degli ottaedri con Mg o Fe. La struttura del minerale non viene pregiudicata, ma si crea uno



scompenso nelle cariche elettriche interne, neutralizzate dall'acqua e dai cationi adsorbiti negli strati interfogliari.

I minerali argillosi sono classificati in 6 gruppi⁷.

- *Caolinite*: non ha cationi interscambiabili (molto usati nell'industria della porcellana e della carta per il suo potere sbiancante).
- *Illite*: l'illite è il minerale argilloso più frequente diffuso, con una discreta capacità di adsorbire acqua.
- *Smectite*: sono il gruppo delle **argille espandibili** e la loro caratteristica principale è la possibilità di adsorbire e cedere acqua (lo spessore del minerale passa da 10 a 18 angstrom). Hanno un'alta capacità di scambio cationico. Il minerale principale è la *Montmorillonite* che viene utilizzata, per il suo alto potere adsorbente, per la purificazione dei carburanti e degli olii minerali, per la chiarificazione delle acque; si ritrova anche nell'industria tessile, dei saponi, per la produzione di cosmetici ed altro.
- *Vermiculite*: anche queste espandibili e dotate di buona capacità di scambio cationico. Se scaldate rapidamente, hanno una buona capacità di perdere acqua, espandendosi ed assumendo forma di piccoli vermi.
- *Cloritie*: non sono espandibili (distanza interfogliare 14 angstrom) ed hanno capacità di scambio cationico simile alle illiti.
- *Paligorskite*: hanno una struttura a catena e non a strati.

Le caratteristiche fisico-chimiche⁸ si possono così sintetizzare:

- dimensioni dei grani < 2 μ m;
- alta superficie specifica (superficie di particelle per unità di volume);
- presenza di "micropori" (diametri < 8 millesimi di mm), che costituiscono vuoti capillari che permettono la lenta risalita dell'acqua;
- comportamento colloidale in soluzione (a causa delle piccole dimensioni dei grani e per le cariche elettriche libere, generalmente negative);
- alta plasticità;
- bassa permeabilità;
- elevato scambio cationico (adsorbono sulla superficie gli ioni di acque con cui vengono a contatto per cederle ad acque con diversa concentrazione ionica).

A.6.4 Caratteristiche geotecniche (proprietà meccaniche)

I terreni sono costituiti da uno scheletro solido e da una fase liquida che riempie i vuoti interstiziali.

Il comportamento meccanico dei terreni argillosi è influenzato dalla composizione mineralogica, dagli stati tensionali ai quali i materiali sono stati sottoposti nel tempo e dai processi di alterazione subiti.

Ad esempio, per i terreni argillosi, la presenza di Montmorillonite può essere causa di insidiosi fenomeni di rigonfiamento e ritiro, in seguito a variazioni del contenuto d'acqua.

La "storia" dello stato tensionale e quindi le tensioni alle quali è stato sottoposto il terreno in passato in seguito ai fenomeni di sedimentazione ed eventuale successiva erosione, determinano il grado di sovraconsolidazione dei materiali. Il terreno è definito normalconsolidato quando non ha subito tensioni maggiori di quella attuale; sovraconsolidato

⁷ BIONDI *et al.* - 1994.

⁸ Ibidem.



quando in passato ha subito tensioni maggiori, ad esempio in caso di riduzione del carico in seguito a processi di erosione.

In un terreno normalconsolidato, con l'aumentare della profondità, si ha una riduzione sia della porosità che del contenuto d'acqua, con conseguente aumento della resistenza.

Il processo di consolidazione dei terreni argillosi, ovvero la graduale diminuzione del contenuto d'acqua in seguito all'applicazione di un carico costante ed il riaggiustamento della posizione dei granuli, è molto lento e dura per anni; ciò in seguito alla

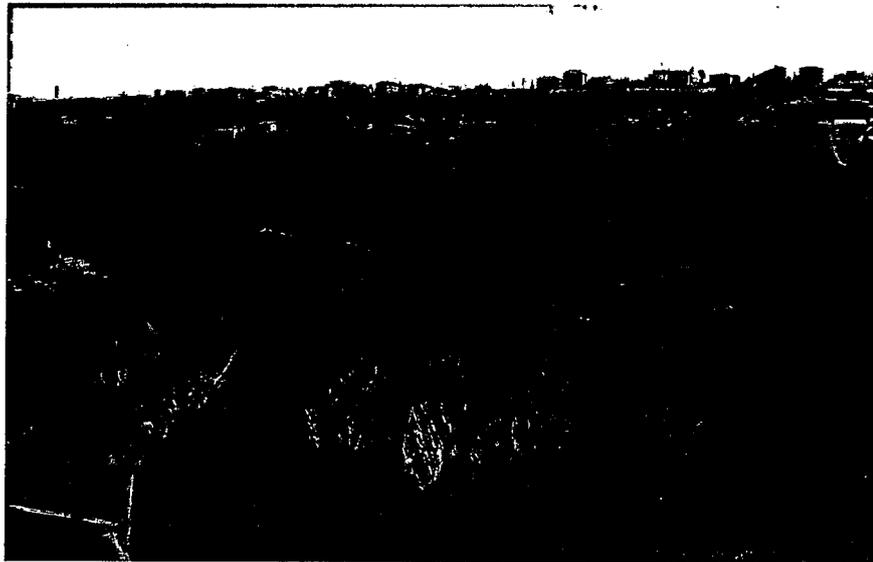


Foto. A.6.4.1 - L'abitato di Mutignano, che sorge su un "cap-rock".
(C. Crocetti)

bassissima permeabilità di tali terreni e, quindi, alla difficoltà di espulsione dell'acqua dai pori.

I processi di alterazione in seguito all'esposizione dei terreni agli agenti atmosferici, possono determinare la riduzione delle proprietà meccaniche dei terreni. Ai processi di alterazione contribuisce anche l'attività antropica.

La predisposizione al dissesto è stata tenuta bene in conto in passato, quando le attività antropiche "si conformavano maggiormente alla situazione fisico-geografica esistente" (BIONDI *et al.* - 1994). Gli insediamenti e la rete viaria storica sono infatti localizzate nelle zone di maggior stabilità (cime e crinali), che possiedono migliori caratteristiche geotecniche (*depositi di tetto*).

A.6.5 Brevi considerazioni sulla pedologia dei terreni argillosi

Con l'espressione "terreni argillosi", si definiscono terreni con prevalenza di argilla secondo il diagramma triangolare di tessitura dei suoli. Si considerano argillosi quei terreni con una componente di argilla superiore al 40%. L'argilla è uno dei componenti fondamentali del suolo sia dal lato fisico-meccanico che biochimico. Dal punto di vista *fisico-meccanico*, contribuisce alla creazione di una struttura spaziale del suolo "secondo forme che determinano un assetto che lascia spazio alla porosità" (BIONDI F. *et alii*, -1994). Dal punto di vista biochimico le capacità di adsorbimento sono fondamentali perché, bloccando le sostanze nutritive, permettono alle radici di estrarle. La capacità di trattenere le sostanze nutritive per renderle disponibili alle colture, viene chiamata in agronomia *Capacità di Scambio Cationico (CSC)* ed è una caratteristica fondamentale dei suoli agricoli. L'argilla è quindi un componente essenziale per un buon terreno. In una equilibrata tessitura determina una buona struttura con una porosità sufficiente e rende disponibile sostanze nutritive.

L'utilizzazione agraria di tali suoli dipende dalla congiunta interconnessione di caratteristiche climatiche, di acclività e dal tenore di argilla. I terreni argillosi abbondano nella penisola italiana, ma purtroppo non possono essere considerati buoni terreni agrari, in quanto, anche



se potenzialmente ricchi di sostanze nutritive, sono anomali per la loro costituzione fisica e percentuali elevate di argilla ne fanno prevalere le caratteristiche di impermeabilità. La produttività risulta piuttosto scarsa per alti valori del contenuto di argilla, mentre può migliorare quando prevalgono componenti limoso-sabbiose, che subiscono meno fenomeni di spaccatura estiva, dando luogo a terreni migliori dal punto di vista agrario. I suoli argillosi sono terreni "forti", difficili da lavorare per la resistenza meccanica alle lavorazioni agricole, in cui l'alto grado di colloidismo può essere superato tramite lavorazioni profonde eseguito in periodi asciutti.

È interessante notare che i terreni argillosi, proprio per la loro natura, riescono ad immagazzinare una certa quantità d'acqua. Questo rende disponibile, a dispetto dell'aspetto siccitoso, una riserva idrica nei periodi caldi. Riserva che però rimane sempre più difficile estrarre dagli apparati radicali, man mano che si va esaurendo.

Lo sviluppo dei suoli sugli affioramenti di argille plio-pleistoceniche è condizionato da fattori climatici e geomorfologici locali. Generalmente la sezione di una collina argillosa nelle condizioni climatiche dell'Italia centrale presenta, dall'alto verso il basso, la seguente pedologia⁹:

- *Sommità del versante*: essendo meno interessati da fenomeni erosivi è ben differenziato in orizzonti. Sono suoli classificabili (sistema FAO) come *Vertic Calcic Cambisol*. Si caratterizzano per un profilo ABC con un epideon (strato superficiale) ocrico (scarsa presenza di sostanza organica), sovrapposto ad un orizzonte cambico (orizzonte di alterazione) i cui carbonati si trovano negli strati sottostanti. Sono mediamente profondi, con un'alta capacità di ritenzione idrica ed una permeabilità molto bassa; mediamente calcarei e con reazioni dal neutro all'alcalino. La scarsa umidità estiva li rende duri e compatti.
- *Parte media del versante*. Dove la pendenza oscilla tra il 15 e 35 per cento i suoli sono interessati da fenomeni cronici di ruscellamento e smottamento, per cui si differenziano poco dall'argilla originaria. Sono classificati come *Calcaric Regosols*. Hanno un profilo AC, con un epideon ocrico di esiguo spessore. Sono poco profondi, con scarsa ritenuta idrica, abbondante calcare con reazione mediamente alcalina.
- *Fondovalle*. Il ristagno d'acqua e la concentrazione di cationi liberi provenienti dall'erosione dei versanti, formano nuove argille smectitiche che originano i *Vertisols*.

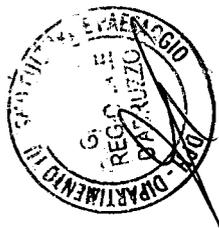
I *Regosuoli* e *Vertisuoli* costituiscono un'associazione di suoli recenti che, nella penisola italiana, coincide tipicamente con la fascia del pliocene marino argilloso e limoso, soggetta a gravi fenomeni di erosione idrica e diffuse forme calanchive.

Questa tipologia di suoli circonda quasi ovunque il sistema montuoso appenninico, ma raggiunge la maggiore estensione nella fascia periadriatica delle basse colline marchigiane, abruzzesi e romagnole dal F. Marecchia al F. Trigno. Tale fascia, di larghezza piuttosto costante pari a 20-25 km, è compresa tra l'esile piana alluvionale litoranea e le formazioni marnoso-calcaree della collina più interna ed è interrotta dalle lingue alluvionali dei numerosi corsi d'acqua che scendono quasi verticalmente al mare.

La fascia a colline plioceniche si presenta con un aspetto abbastanza omogeneo: forme arrotondate dei crinali, pendenza dei versanti generalmente modesta e presenza frequente di morfologie calanchive.

Tale tipologia di suoli presenta generalmente la necessità di un'adeguata copertura vegetale permanente, in grado di proteggere efficacemente il terreno, senza escludere forme di

⁹ BIONDI F. et al. - 1994.



utilizzo agrario a colture cerealicole o a prati estesi se le caratteristiche climatiche, la disponibilità d'acqua e, soprattutto, le condizioni di acclività, lo consentono (AA. VV. - 1970).

Il "Bacino regionale del Piomba" presenta quasi ovunque questa tipologia di suoli, tranne che per un breve tratto a monte del Torrente Piomba, dove troviamo la formazione miocenica a suoli bruni, ovvero terreni formati su base arenacea.

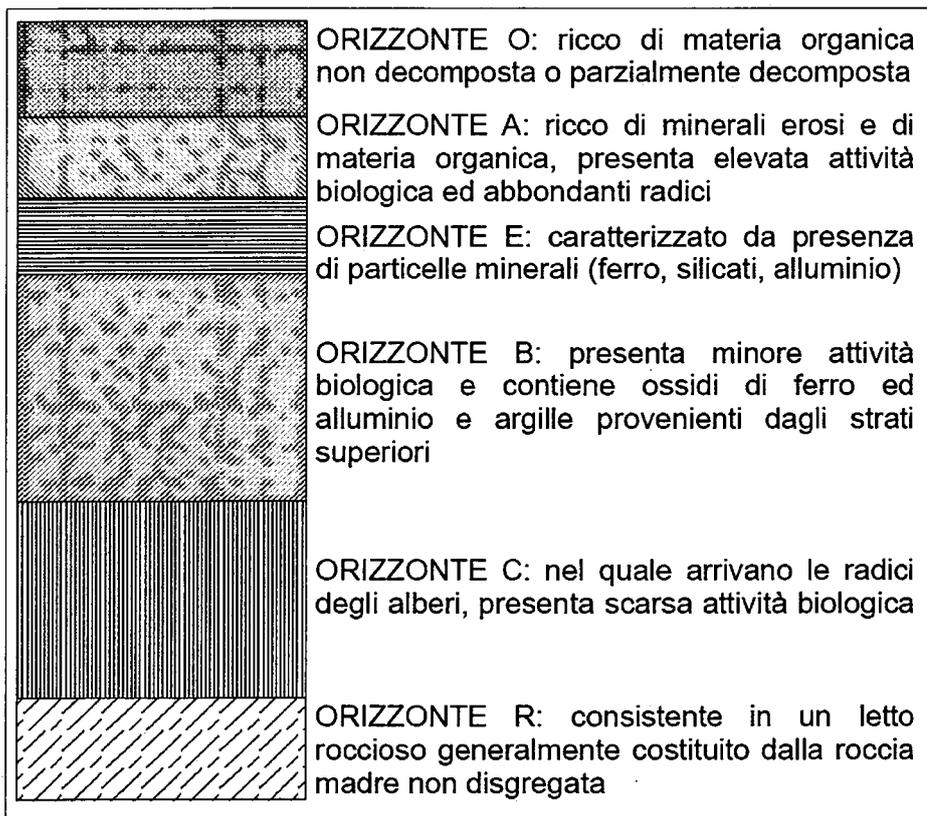


Fig A.6.5.I – Sezione pedologica tipo (rielaborazione da SANNA – 2003).

A.7 Clima

(Elaborazione dati:OMTEA - Osservatorio Meteorologico Teramano e dell'Adriatico)

L'indagine sulle caratteristiche climatiche dell'area di Atri (TE, 442 m s.l.m.) e dei Bacini idrografici del Torrente Piomba, del Torrente Calvano e del Fosso Cerrano è stata effettuata attraverso i dati d'archivio della stazione meteorologica del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano di Pescara, ubicata poco distante dal centro cittadino in località Colle della Giustizia a 425 m s.l.m. Sono stati estratti ed analizzati i dati termici per quanto riguarda l'intervallo temporale dal 1994 (anno inizio rilevazioni termometriche) al 2001 (ultimo anno disponibile per la consultazione). I dati pluviometrici, invece, sono relativi al trentennio 1971-2000

Cenni di climatologia ed inquadramento climatico dell'area.

Vasti settori della penisola italiana rientrano nell'area climatica di tipo "Mediterraneo" (Temperato Caldo Subtropicale, *Troll-Paffen*) che appartiene alla classe dei mesotermici e più precisamente al temperato piovoso con estate asciutta, secondo la classificazione di W. Koppen. Da questo contesto generale, per differenziazioni orografiche e latitudinali, si



possono fare ulteriori suddivisioni secondo gli schemi generali di *Koppen* e *Koppen-Geiger*, entrambi basati su discriminanti termiche.

Nel primo caso (*Koppen*), restringendo il campo ai bacini idrografici che riguardano più direttamente i dintorni di Atri (T. Piomba, T. Calvano, F.so Cerrano), l'area di interesse può essere suddivisa in due sottoclassi identificative come:

a. Mesotermico con estate molto calda (media mese più caldo superiore ai 22°C), area collinare pre-litoranea, pianeggiante e di foce;

b. Mesotermico con estate calda (media mese più caldo inferiore ai 22°C), area collinare medio-alta.

Nel secondo caso (*Koppen-Geiger*), caratterizzato da una maggiore differenziazione all'interno della classe "Temperato", si possono identificare i seguenti due tipi climatici:

a. Temperato caldo (Cs-Tc), fascia litoranea. Media annua da 14.5 a 16.9°C; media del mese più freddo da 6 a 9.9°C; 4 mesi con media > 20°C; escursione annua da 15 a 17°C.

b. Temperato sublitoraneo (Cs-Ts), aree collinari subappenniniche e preappenniniche. Media annua da 10°C a 14.4°C; media del mese più freddo da 4°C a 5.9°C; 3 mesi con media > 20°C; escursione annua da 16°C a 19°C.

L'area annoverabile nella prima sottoclasse (*Cs-Tc*) è quella che riguarda più strettamente il Torrente Calvano, il medio-basso corso del torrente Piomba, il Fosso Cerrano. La seconda (*Cs-Ts*), invece, è quella localizzata nell'alto corso del Torrente Piomba, nella zona di Cermignano.

Analisi dei valori medi di temperatura e precipitazione

L'analisi dei valori medi di temperatura e precipitazioni è stata effettuata sulla base di una serie storica ottennale (Dati termo-pluviometrici a confronto, 1994-2001) ed una serie storica trentennale (Dati pluviometrici a confronto, 1971-2000).

| | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T.Min | 4,2 | 4,1 | 6,1 | 8,6 | 13,9 | 17,5 | 20,0 | 20,4 | 15,7 | 12,6 | 8,2 | 4,9 |
| T.Max | 8,7 | 9,6 | 12,6 | 15,2 | 20,6 | 24,8 | 27,4 | 27,7 | 22,6 | 18,4 | 13,1 | 9,4 |
| T.Med | 6,5 | 6,8 | 9,3 | 11,9 | 17,3 | 21,2 | 23,6 | 24,1 | 19,2 | 15,5 | 10,7 | 7,1 |
| P.M.M. | 59,9 | 54,7 | 51,4 | 60,7 | 44,4 | 36,4 | 52,6 | 37,1 | 77,9 | 81,7 | 88,1 | 92,2 |

Tab. A.7.1 - Valori medi mensili delle massime, delle minime e medie mensili totali. Valori medi mensili delle precipitazioni. Serie storica 1994-2001. Dati Istituto Idrografico e Mareografico di Pescara.

- Temperatura media annua: **14.4°C**;
- Temperatura media mese più freddo: **6.5 C°** (Gennaio);
- Temperatura media mese più caldo: **24.1 C°** (Agosto);
- Media delle minime mese più freddo: **4.1 C°** (Febbraio);
- Media delle massime mese più caldo: **27.7 C°** (Agosto).

Di seguito viene mostrato il climogramma di Atri (TE) che rappresenta gli andamenti medi mensili delle temperature massime, minime, medie e delle precipitazioni, sulla base del periodo ottennale che va dal 1994 al 2001 (unica serie confrontabile tra temperature e precipitazioni dato che l'inizio delle rilevazioni termiche risale all'anno 1994). Sotto il profilo termico, Giugno, Luglio ed Agosto appaiono i mesi più caldi, con Settembre che è solo di poco al di sotto della soglia dei 20°C; Gennaio e Febbraio, invece, risultano i mesi dalle



temperature medie più basse (rispettivamente 6.5°C e 6.8°C), con valori in Dicembre poco superiori (7.1°C). La media termica annuale, sulla base dei dati ottennali, risulta di 14.43°C.

Dall'analisi dei dati relativi agli apporti meteorici, è evidente la maggiore piovosità dei mesi autunnali, con valori medi intorno ai 90 mm in Ottobre, Novembre e Dicembre. Scarse precipitazioni invece nei mesi estivi, comunque solo di poco inferiori a quelli invernali e primaverili, questi ultimi condizionati quasi esclusivamente dalle rare incursioni artico-continentali provenienti dall'Europa nord-orientale. Nell'alto bacino del Piomba (Cermignano) è verosimile che le medie dei mesi estivi siano ancora più elevate, considerando l'apporto fornito dai fenomeni temporaleschi che, nel tardo pomeriggio, riescono a raggiungere con ancora un discreto vigore solo le aree subappenniniche e pre-litoranee.

Atri (TE) - Climogramma di Walter e Lieth - Periodo 1994-2001

Elaborazione OMTeA - Fonte dati: Servizio Idrografico di Pescara

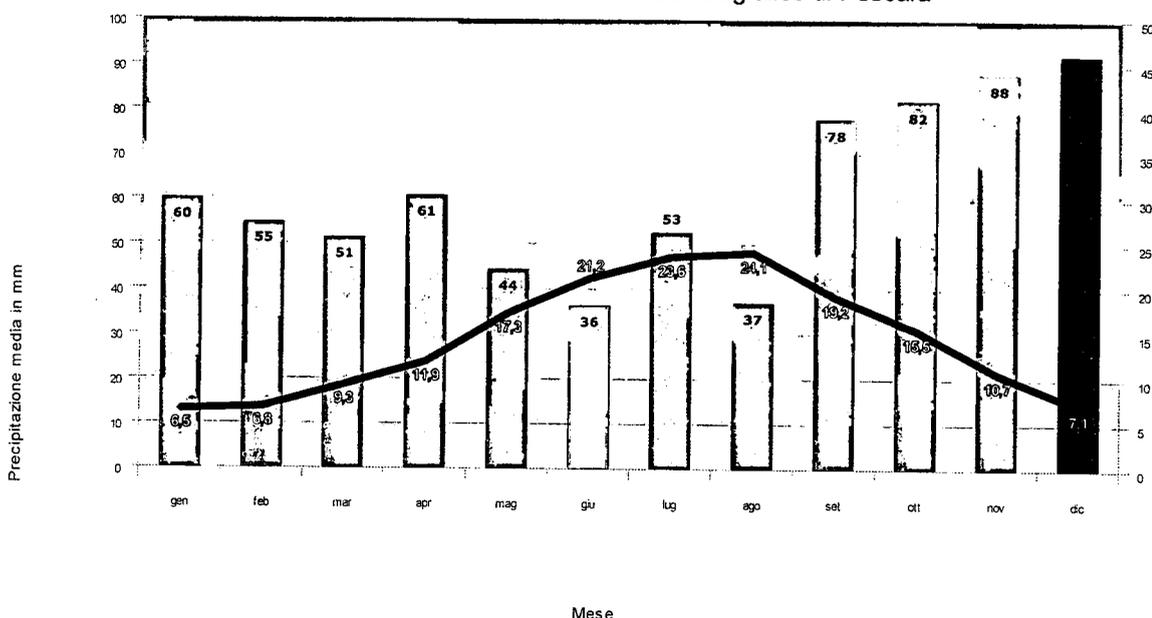
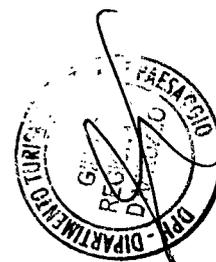


Grafico A.7.1 – Climogramma di Walter e Lieth. Serie storica 1994-2001, con evidenti sfalsamenti nella regolarità della distribuzione delle precipitazioni causate da incisive anomalie positive avvenute nei mesi di Aprile (nel 1992 con 148.6mm), Luglio (nel 1999 con 252.4mm) e Dicembre (nel 1996 con 145.8mm), negative in Ottobre (nel 1995 con 0mm). Dati Istituto Idrografico e Mareografico di Pescara.

Proseguendo l'analisi degli apporti pluviometrici, vengono di seguito mostrati i grafici riguardanti il trentennio 1971-2000 dei valori medi mensili e della piovosità totale annuale.



Atri (TE) - Medie mensili di precipitazione - Trentennio 1971-2000

Elaborazione OMTeA - Fonte dati: Servizio Idrografico di Pescara

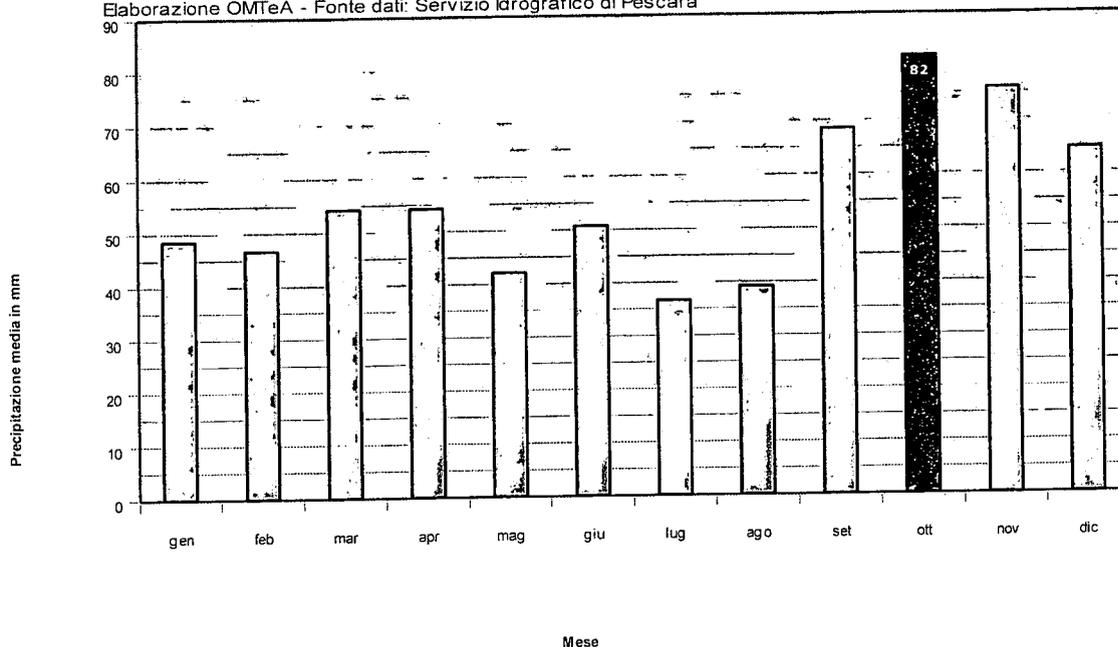


Grafico A.7.II - Trentennio 1971-2000. In evidenza la più regolare distribuzione delle piogge durante i mesi autunnali rispetto alla statistica ottennale del climogramma. Significativo anche l'andamento delle precipitazioni primaverili. Dati Istituto Idrografico e Mareografico di Pescara.

Atri (TE) - Serie dei totali annuali di precipitazione - Trentennio 1971-2000

Elaborazione OMTeA - Fonte dati: Servizio Idrografico di Pescara

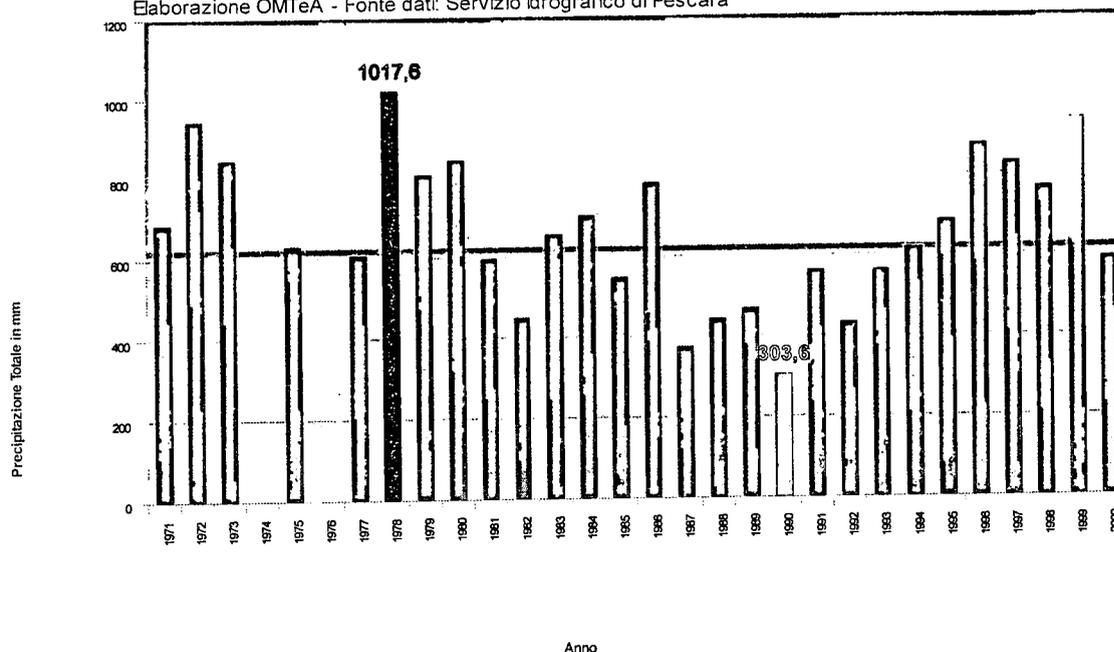


Grafico A.7.III - Trentennio 1971-2000. In rosso la media annuale di precipitazione di 662,6 mm. Evidente un periodo piuttosto siccitoso tra il 1987 ed il 1992. Dati Istituto Idrografico e Mareografico di Pescara.



Nei dati trentennali riguardanti le medie mensili di piovosità, viene messa in risalto una maggiore incisività dei mesi di Ottobre, Settembre e Marzo rispetto alla statistica ottennale 1994-2001. Si accentua, inoltre, l'incremento di precipitazioni nei mesi primaverili rispetto a quelli invernali e estivi. Ottobre, dunque, rimane il mese più piovoso con 82 mm di media mensile, mentre Agosto il più siccitoso con 37 mm.

Osservando la serie trentennale dei totali annuali di precipitazione si nota un massimo corrispondente ai 1017.6 mm del 1978 ed un minimo di 303.6 mm del 1990, anno inserito in una fase particolarmente siccitosa a cavallo tra il 1987 ed il 1992. La media totale di tutta la serie, corrispondente a **662.6 mm**, permette di classificare ulteriormente l'area in **Subumida** secondo l'*Indice di Aridità di De Martonne* ($A=20.17$) e in **Debolmente Continentale** secondo l'*Indice di Continentalità di Ivanov* ($I=115.11$).

Apporti meteorici solidi

Per concludere, un cenno va fatto agli apporti meteorici solidi: neve e grandine.

Nel primo caso, il fenomeno è strettamente legato all'irruzione di masse di aria fredda dall'area dei Balcani o comunque dall'Europa continentale; tutto il versante adriatico, infatti, per avere delle nevicate significative al di sotto degli 800-1000 m s.l.m. ha la necessità che si instaurino correnti orientali intense o moderate, che permettano un buon raffreddamento anche nei bassi strati, vista la mancanza di un efficace inversione termica nelle zone pianeggianti subappenniniche, troppo influenzate dal mare Adriatico. E' comunque nei mesi di Gennaio e Febbraio che si concentra il numero maggiore di fenomeni nevosi, in media sui 2-3 annui oltre i 200-300 m s.l.m., con apporti al suolo in alcuni casi anche piuttosto consistenti, come gli 85-90 cm dell'evento del 25-30 Gennaio 2005. Tuttavia, su tutti i settori in esame, il manto non perdura mai a terra in maniera diffusa per lunghi periodi, ad esclusione di qualche area particolarmente ombreggiata, prevalentemente in concomitanza con periodi caratterizzati da costanti gelate notturne.

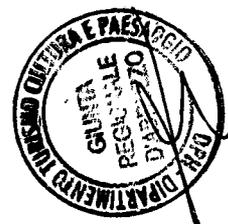
Per quanto riguarda i fenomeni grandinigeni, invece, è da sottolineare l'occasionalità dell'evento, possibile nei mesi primaverili, estivi e autunnali, spesso associato al transito di temporali o di eventi indotti da avvezioni frontali sulle regioni adriatiche, in concomitanza con un repentino mescolamento tra masse d'aria più fredde in arrivo e le più calde già presenti nei bassi strati. Meno frequenti le grandinate a seguito delle intense cumulogenesi estive che caratterizzano i settori appenninici; le precipitazioni associate a questi fenomeni, infatti, il più delle volte giungono già scariche ed attenuate sull'area posta sotto indagine.

A.8 Matrice insediativa ed infrastrutturale viaria

La matrice insediativa dell'area è caratterizzata da abitati storici sui rilievi collinari in corrispondenza dei corpi tabulari conglomeratici e sabbiosi, che costituiscono i depositi di tetto. Tale litologia garantisce la necessaria stabilità strutturale per poter fondare abitati di una certa estensione. Troviamo quindi sulle alture paesi come Mutignano, Silvi Alta, Casoli e la stessa Atri.

Al di fuori degli abitati più grandi troviamo un esteso territorio agricolo caratterizzato da una diffusa edilizia rurale sparsa: nuclei abitativi di piccole dimensioni e casolari isolati. A questi si aggiungono edifici funzionali alla produzione agricola ed all'allevamento: capannoni, rimesse, stalle, pollai, ecc.

Abitati e strutture produttive risultano collegate da una fitta rete viaria, che impostandosi su aree geomorfologicamente instabili, risulta in generale in non buone condizioni. Frane e



fenomeni erosivi condizionano pesantemente la stabilità e la praticabilità delle strade, arrivando anche ad incidere negativamente sulle attività agricole ed economiche in genere.

A.9 Uso del suolo ed interazioni con gli aspetti socio-economici

L'uso del suolo e le dinamiche socio-economiche possono interagire fortemente con l'assetto geo-idrologico di un territorio. In particolare le attività agro-silvo-pastorali possono interagire fortemente con l'equilibrio idrogeologico del territorio in cui vengono praticate. Lavorazioni pesanti del terreno ed il calpestio delle greggi, possono ad esempio innescare processi erosivi e causare gravi perdite di suolo fertile.

Le principali forme di utilizzazione del suolo possono essere così raggruppate:

- *seminativi, coltivazioni orticole e coltivazioni legnose agrarie*, localizzate principalmente in pianura e collina;
- *foraggere permanenti*, ossia i così detti prati, pascoli o prati-pascoli permanenti;
- *boschi*;
- *incolti produttivi*, ossia quei terreni quasi sterili che hanno solo una modesta produzione spontanea di specie erbacee o legnose;
- *altre utilizzazioni*, ossia usi diversi da quelli agro-silvo-pastorali, rappresentate dalle superfici urbanizzate, dalle vie di comunicazione, dalle acque interne, dai terreni sterili, ecc.

L'analisi dell'uso del suolo nel Bacino Regionale del Piomba evidenzia un utilizzo del territorio prettamente agricolo. Le colture agrarie coprono circa il 65% della superficie totale dell'unità idrografica in esame, con una prevalenza di seminativi in aree non irrigue e oliveti specializzati. Circa il 4,5% del territorio è costituito da foraggere permanenti utilizzabili pascolo, indicando una certa vocazione dell'area all'allevamento, con produzioni d'eccellenza come il pecorino di Atri.

Le superfici boscate (ca. il 5,3%) risultano esigue e costituite essenzialmente da formazioni riparie e cedui matricinati.

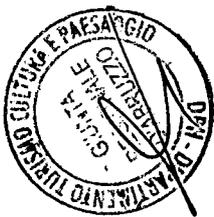
Rilevante è la superficie classificabile come incolto produttivo (ca. il 15,7%), costituita essenzialmente da aree a ricolonizzazione naturale o con vegetazione rada

La superficie edificata urbana e periurbana (insediamenti produttivi, commerciali e residenziali, infrastrutture viarie ed aree turistiche e ricreative) occupa circa 8,7% del territorio).

L'utilizzazione del suolo è influenzata dall'assetto socio-economico. Le dinamiche di popolazione influiscono sulla distribuzione degli insediamenti urbani e produttivi e le dinamiche occupazionali sulle destinazioni d'uso.



Foto A.9.1 – Paesaggio Agrario nella Riserva Naturale Regionale dei Calanchi di Atri.
(F. Di Pietro)



L'area collinare e pedemontana della provincia di Teramo è caratterizzata da un territorio diffusamente antropizzato in cui coesistono insediamenti residenziali e produttivi, aree agricole, zone naturalistiche di pregio ed una fitta rete stradale di vario ordine.

La non grande estensione delle aziende agricole e la presenza diffusa di nuclei e case sparse, possono essere considerate un retaggio del fenomeno mezzadrile, che ha avuto qui uno sviluppo comparabile a quello delle vicine Marche, costituendo una sostanziale differenza rispetto alle strutture agrarie meridionali.

Forme del paesaggio agrario presenti soprattutto nella fascia collinare periadriatica, dove la produzione agricola e l'insediamento residenziale sparso, si confrontano con un assetto idrogeologico del territorio non sempre favorevole.

Nei fondovalle l'evoluzione del paesaggio testimonia la competizione tra agricoltura ed industria o urbanizzazione in genere, con un uso del suolo sempre più volto ad insediamenti produttivi o residenziali.

La connotazione più caratteristica del paesaggio urbano della Provincia di Teramo è comunque un marcato dualismo tra centri storici e la "città lineare"¹⁰ costiera. Questa si sviluppa da Martinsicuro a Silvi Marina, vacando i confini provinciali a nord verso S. Benedetto del Tronto ed a sud fin dopo Pescara. Gli antichi centri storici sono sorti in posizioni un tempo strategiche (*sommità, dorsali, interfluvi*) ed in corrispondenza di terreni dalle caratteristiche geotecniche favorevoli (*conglomerati di tetto*). Il recente sviluppo dei comuni costieri dipende invece da quello della rete infrastrutturale ferroviaria prima e viaria dopo (*A14 e SS16*), insieme alla nascita del turismo di massa balneare.

Si determina così uno squilibrio territoriale e sociale che si rispecchia sulla struttura e sulle tendenze della popolazione, delle attività produttive, del patrimonio edilizio, del sistema infrastrutturale e del reddito pro-capite. Si è quindi verificata una forte concentrazione della popolazione lungo la fascia costiera, nel capoluogo e, in misura minore, nei comuni limitrofi, con un decremento demografico dei comuni della collina ed un crollo di quelli montani.

L'attuale dinamica di popolazione determina "l'abbandono delle aree di maggior valore naturalistico-ambientale, ed agricolo, con la congestione – e la conseguente degradazione – della fascia costiera" (PROVINCIA DI TERAMO – 2001).

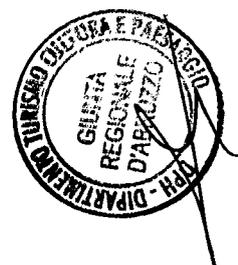
Analizzando i dati censuari¹¹ dei comuni di Atri e Pineto, l'area di studio rispecchia queste dinamiche. La popolazione di Atri è diminuita negli ultimi 40 anni dalle 14069 unità del 1951 alle 11378 del 1991; nello stesso periodo quella di Pineto è aumentata da 6088 a 11980. La densità per kmq della popolazione è quindi conseguentemente variata: nel territorio del comune di Atri è passata da 152 abitanti/kmq a 123 abitanti/kmq, in quello di Pineto da 162 abitanti/kmq a 318 abitanti/kmq.

Le statistiche indicano che l'andamento del fenomeno non è stato omogeneo per tutti i Comuni, né costante nel tempo. Una fase di forte accelerazione si è registrata fino al 1971, seguita da un rallentamento dovuto ad un generale decremento demografico ed ad una saturazione degli spazi.

Fanno eccezione Pineto ed il limitrofo Comune di Silvi, qui la disponibilità di spazi e l'influenza dell'area metropolitana pescarese, hanno determinato una crescita demografica più veloce. Uno sviluppo urbanistico, spesso sconsigliato, si è verificato a Silvi nella zona del Torrente Piomba. Ugualmente a Pineto l'insediamento residenziale si è sviluppato a nord nella zona di Scerne, ad ovest alle spalle dell'abitato, nella piana alluvionale del Calvano e nei suoi primi versanti collinari. Nel comune di Pineto le attività produttive si sono insediate

¹⁰ MORANDI M. - 1999.

¹¹ LANDINI P., MASSIMI G. - 1999.



lungo la piana del Vomano (zona industriale di Scerne) ed in misura inferiore (proporzionata agli spazi disponibili) nella piana del Calvano. Tutte queste aree di nuova espansione risultano posizionate in zone classificate ad alto rischio idraulico.

Lungo la fascia collinare litoranea l'intensa antropizzazione ha comportato un'artificializzazione delle componenti naturali, mentre l'attività agricola ha subito modificazioni che hanno tendenzialmente favorito i fenomeni erosivi e gravitativi dei versanti.

Negli ultimi 30 anni si è assistito ad una forte diminuzione della popolazione occupata nel settore agricolo. Nel Comune di Atri la popolazione occupata era formata nel 1971 da 3976 unità, di cui 1685 in agricoltura (ca. 42% del totale). Nel 1991, su una popolazione di 4293 occupati, sono solo 562 quelli del settore agricolo (ca. 13%). La diminuzione percentuale degli occupati in agricoltura è stata di quasi il 67%. Stessa sorte per il comune di Pineto passato da 554 lavoratori nel settore agricolo su 2690 (ca. 20,5 % del totale), a 269 su 4642 (ca. il 6%), con una diminuzione percentuale all'incirca del 51%. Le cifre ci fanno soprattutto comprendere che la zona di studio non è sfuggita alle tendenze generali di abbandono delle campagne, con tutte le ripercussioni a livello di gestione e presidio del territorio.

I modelli colturali mostrano problemi di compatibilità con la fragilità ambientale e un impoverimento della biodiversità, della naturalità e delle strutture paesaggistiche tradizionali (PROVINCIA DI TERAMO – 2001).

L'insediamento rurale è caratterizzato dall'edilizia sparsa e da alcuni insediamenti fondiari imperniati sulle ville padronali. Al contrario delle zone montane, con aziende oltre i 50 ettari, la fascia collinare litoranea presenta una struttura fondiaria basata soprattutto su piccole aziende di dimensioni inferiori ai 5 ettari (PROVINCIA DI TERAMO – 2001).

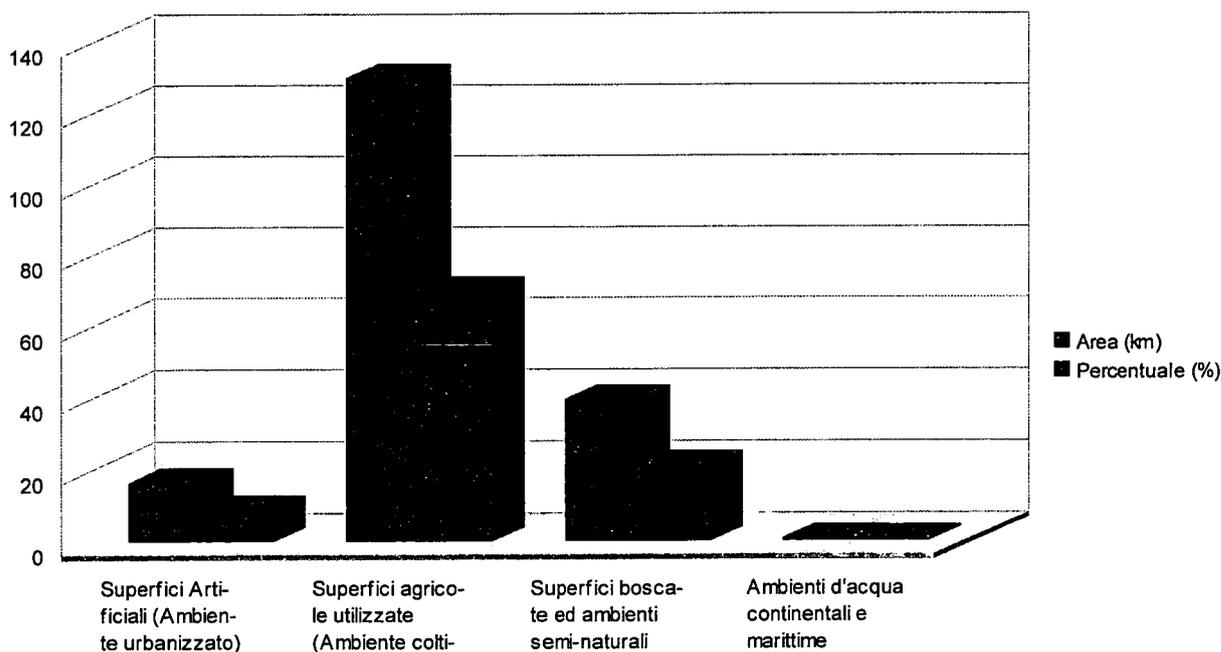


Grafico A.9.1 – Categorie di uso del suolo nel Bacino Regionale del Piomba (elaborazione dati da Carta dell'uso del suolo della Regione Abruzzo - 2000).



| USO DEL SUOLO | Area (ha) | Percentuale (%) |
|---|------------------|------------------------|
| <i>Superfici Artificiali (Ambiente urbanizzato)</i> | | |
| Tessuto residenziale continuo e denso | 285,1 | 1,53 |
| Tessuto residenziale continuo mediamente denso | 335,3 | 1,8 |
| Tessuto residenziale a tessuto discontinuo | 255,6 | 1,37 |
| Tessuto residenziale rado | 198,1 | 1,06 |
| Insedimenti grandi impianti di servizi pubblici e privati | 2 | 0,01 |
| Insedimenti industriali o artigianali con spazi annessi | 323,6 | 1,74 |
| Insedimento commerciale | 13,7 | 0,07 |
| Reti stradali e spazi accessori | 90,8 | 0,49 |
| Aree estrattive | 6,6 | 0,04 |
| Aree verdi urbane | 80,4 | 0,43 |
| Campeggi e bungalows | 13,1 | 0,07 |
| Aree sportive | 14,5 | 0,08 |
| Cimiteri | 8,1 | 0,04 |
| subtotale | 1626,9 | 8,74 |
| <i>Superfici agricole utilizzate (Ambiente coltivato)</i> | | |
| Seminativi in aree non irrigue | 7300,5 | 39,21 |
| Seminativi semplici | 54,1 | 0,29 |
| Vigneti | 189,9 | 1,02 |
| Frutteti e frutti minori | 264,3 | 1,42 |
| Oliveti | 2295,2 | 12,33 |
| Prati stabili (foraggiere permanenti) | 822,4 | 4,42 |
| Colture temporanee associate a colture permanenti | 1567,9 | 8,42 |
| Sistemi colturali e parcellari complessi | 407,3 | 2,19 |
| Colture agrarie con spazi naturali importanti | 41,2 | 0,22 |
| Aree agroforestali | 44,9 | 0,24 |
| Colture orticole in campo, serra, sotto plastica | 1,9 | 0,01 |
| subtotale | 12989,6 | 69,76 |
| <i>Superfici boscate ed ambienti semi-naturali</i> | | |
| Boschi di conifere | 4,8 | 0,03 |
| Boschi di latifoglie di alto fusto | 18,3 | 0,1 |
| Boschi misti di conifere e latifoglie | 10,2 | 0,05 |
| Cedui matricinati | 527,8 | 2,83 |
| Formazioni riparie | 418,5 | 2,25 |
| Brughiere e cespuglieti | 171,8 | 0,92 |
| Aree a ricolonizzazione artificiale | 59,4 | 0,32 |
| Aree a ricolonizzazione naturale | 1359,9 | 7,3 |
| Spiagge, dune sabbie | 39,7 | 0,21 |
| Aree con vegetazione rada | 1332,5 | 7,16 |
| subtotale | 3942,9 | 21,18 |
| <i>Ambienti d'acqua continentali e marittime</i> | | |
| Estuari | 3,4 | 0,02 |
| Fiumi torrenti e fossi | 5,7 | 0,03 |
| Bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui | 7,1 | 0,04 |
| Bacini senza utilizzazioni produttive | 43,4 | 0,23 |
| Aree oltre il limite delle maree più basse | 0,8 | 0 |
| subtotale | 60,4 | 0,32 |
| SUPERFICIE TOTALE | 18619,8 | |



A.10 Pericolosità e rischio idrogeologico

Il Bacino Regionale del Piomba risulta caratterizzato da un fragile assetto idrogeologico. Ciò emerge dalle caratteristiche ambientali ed antropiche del territorio, descritte nelle pagine precedenti, e dall'analisi del *Piano di Assetto Idrogeologico* della Regione Abruzzo.

L'estensione delle superfici classificate nel Piano come pericolose¹², per la presenza di dissesti di versante, nei comuni ricadenti nel "Bacino Regionale del Torrente Piomba", rivela un'estrema fragilità geomorfologica, soprattutto per il comune di Atri (Tab. A.10.I).

Le classi di pericolosità risultano così definite:

- P1 moderata
- P2 elevata
- P3 molto elevata

Emerge inoltre che il comune di Atri è uno di quelli a maggior pericolosità dell'intera regione. Tale comune risulta al quinto posto in Abruzzo come superficie classificata a vario titolo pericolosa (P1, P2 o P3), al quinto come superficie classificata P2 ed al primo come superficie classificata P3 (Tab. A.10.II).

Il P.A.I. individua inoltre una quarta categoria di pericolosità relativa ad elementi lineari di scarpata. Nell'area ritroviamo quattro tipi di scarpate:

- orli di scarpata con influenza strutturale interessata da caduta di detrito;
- orli di scarpata di erosione fluviale o torrentizia;
- orli di scarpata marina ;
- orli di scarpata di degradazione e di frana.

Dalla cartografia tematica, si evince come tale tipologia sia particolarmente presente nel territorio, a causa soprattutto del fitto reticolo idrografico.

| Prov. | COMUNE | BACINO IDROGRAFICO | Sup (Km ²) P1 | Sup (Km ²) P2 | Sup (Km ²) P3 | Sup (Km ²) (P1+P2+P3) | Sup comune (Km ²) | % (di P1+P2+P3) |
|-------|-------------------|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| TE | Atri | Vomano, Piomba, Calvano, Cerrano | 1,42 | 14,90 | 10,53 | 26,86 | 91,98 | 29% |
| TE | Cellino Attanasio | Vomano, Piomba, Fino | 0,20 | 7,85 | 4,17 | 12,21 | 43,99 | 28% |
| PE | Città S. Angelo | Fino, Piomba | 1,75 | 5,67 | 4,43 | 11,85 | 61,86 | 19% |
| TE | Pineto | Calvano, Cerrano, Foggetta, Torrenti minori | 1,85 | 4,72 | 2,57 | 9,14 | 37,75 | 24% |
| TE | Cermignano | Vomano, Piomba, Fino | 0,84 | 6,02 | 1,87 | 8,73 | 26,12 | 33% |
| TE | Castilenti | Fino, Piomba | 0,05 | 3,64 | 3,73 | 7,43 | 23,62 | 31% |
| TE | Silvi | Piomba, Cerrano, Concio, Torrenti minori | 0,64 | 4,93 | 0,22 | 5,80 | 20,82 | 28% |
| TE | Montefino | Fino, Piomba | 0,05 | 2,58 | 2,68 | 5,31 | 18,41 | 29% |
| PE | Elice | Fino, Piomba | 0,05 | 1,19 | 0,55 | 1,80 | 14,18 | 13% |

Tab. A.10.I - Superfici classificate pericolose per la presenza di dissesti di versante, nei comuni ricadenti nel Bacino Regionale del Torrente Piomba (rielaborazione da REGIONE ABRUZZO - 2005.a).



¹² Allegato A delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio-Fenomeni gravitativi e processi erosivi.

| COMUNE | BACINO IDROGRAFICO | Sup (Km ²) (P1+P2+P3) | Sup comune (Km ²) | % |
|------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|------------|
| Teramo | Tordino, Vomano | 42,00 | 151,81 | 28% |
| L'Aquila | Aterno-Pescara | 35,68 | 466,85 | 8% |
| Atessa | Osentò, Sangro, Sinello | 34,01 | 111,07 | 31% |
| Penne | Fino, Tavo | 27,44 | 90,32 | 30% |
| Atri | Vomano, Piomba, Calvano, Cerrano | 26,86 | 91,98 | 29% |
| Castel di Sangro | Sangro, Aterno-Pescara | 23,08 | 76,07 | 30% |

| COMUNE | BACINO IDROGRAFICO | Sup (Km ²) P3 | Sup comune (Km ²) | % |
|---------------------|---|------------------------------|----------------------------------|------------|
| Atri | Vomano, Piomba, Calvano, Cerrano | 10,53 | 90,32 | 12% |
| Atessa | Osentò, Sangro, Sinello | 10,08 | 111,07 | 9% |
| Roccamontepiano | Alento, Foro, Aterno-Pescara | 6,98 | 18,07 | 39% |
| Teramo | Tordino, Vomano | 6,73 | 151,81 | 4% |
| Lanciano | Feltrino, Sangro | 5,09 | 65,97 | 8% |
| FrancaVilla al mare | Foro Alento | 5,07 | 22,91 | 22% |

| COMUNE | BACINO IDROGRAFICO | Sup (Km ²) P2 | Sup comune (Km ²) | % |
|------------------|---|------------------------------|----------------------------------|------------|
| Teramo | Tordino, Vomano | 28,76 | 151,81 | 19% |
| Atessa | Osentò, Sangro, Sinello | 20,52 | 111,07 | 18% |
| Castel di Sangro | Sangro, Aterno-Pescara | 18,84 | 76,07 | 25% |
| Penne | Fino, Tavo | 17,88 | 90,32 | 20% |
| Atri | Vomano, Piomba, Calvano, Cerrano | 14,90 | 91,98 | 16% |
| Caramanico Terme | Aterno-Pescara, Sangro | 14,50 | 84,41 | 17% |

Tab. A.10.II - Comuni abruzzesi con le maggior estensioni di superfici classificate pericolose (rielaborazione da REGIONE ABRUZZO - 2005.a).

Dall'intrinseca pericolosità presente nell'area, deriva un consistente grado di rischio. L'attribuzione della classe di rischio R1 (moderato), R2 (medio), R3 (elevato), R4 (molto elevato) viene effettuata secondo la seguente formula semplificata:

$$R = P \times W$$

Dove P è la *Pericolosità* e W il *Valore degli elementi a rischio*. La fase di attribuzione di quest'ultimo fattore è quella caratterizzata dalla maggiore soggettività, tale valore viene attribuito secondo un valore relativo dei diversi elementi (il più alto agli agglomerati urbani, il più basso alle aree agro forestali) La classe di Rischio viene attribuita attraverso la griglia seguente, sovrapponendo la *Carta della Pericolosità* a quelle degli *Elementi a rischio*. Dall'analisi comparata dei diversi comuni abruzzesi emerge un'elevata condizione di rischio attribuita al comune di Atri, che risulta il quinto comune d'Abruzzo per superfici classificate a vario titolo a rischio (R1, R2, R3, R4).



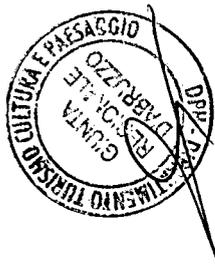
| ELEMENTO DI VALORE (W) | PERICOLOSITÀ (P) | | |
|---|------------------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 |
| Aree agricole-forestali | R1 | R1 | R1 |
| Aree sottoposte a vincoli | R1 | R1 | R1 |
| Aree di servizi pubblici e privati | R1 | R1 | R2 |
| Infrastrutture di rilievo locale | R1 | R1 | R2 |
| Ferrovie | R2 | R2 | R3 |
| Aree con insediamenti produttivi e con impianti tecnologici | R2 | R2 | R3 |
| Infrastrutture di rilievo nazionale o regionale | R2 | R2 | R3 |
| Nuclei di edificazione diffusa | R2 | R3 | |
| Agglomerati urbani | R2 | R3 | |

Nota: Infrastrutture di rilievo locale = Strade di carattere locale (comunale e provinciale)
 Infrastrutture di carattere nazionale o regionale = Strade di carattere regionale o nazionale (Statali e Autostrade), Elettrodotti, Gasdotti.

Tab. A.10.III - Griglia dell'attribuzione delle classi di rischio (REGIONE ABRUZZO - 2005.a).

| Prov. | COMUNE | BACINO IDROGRAFICO | Sup | Sup | Sup | Sup | Sup (Km ²) | Sup | % (di |
|-------|------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|-------|
| | | | (Km ²) | (Km ²) | (Km ²) | (Km ²) | (R1+R2+R3+ R4) | comune (Km ²) | |
| TE | Teramo | Tordino, Vomano | 40,89 | 0,845 | 0,239 | 0,022 | 42,00 | 151,81 | 28% |
| AQ | L'Aquila | Aterno-Pescara | 34,95 | 0,775 | 0,020 | 0,028 | 35,77 | 466,85 | 8% |
| CH | Atessa | Osentto, Sangro, Sinello | 33,61 | 0,235 | 0,110 | 0,033 | 33,89 | 111,07 | 31% |
| PE | Penne | Fino, Tavo | 26,54 | 0,580 | 2,550 | 0,082 | 27,45 | 90,32 | 30% |
| TE | Atri | Vomano, Piomba, Calvano, Cerrano | 26,77 | 0,311 | 0,134 | 0,054 | 26,77 | 91,98 | 29% |
| AQ | Castel di Sangro | Sangro, Aterno-Pescara | 34,95 | 0,622 | 0,120 | 0,066 | 23,08 | 76,07 | 30% |

Tab. A.10.IV - Comuni abruzzesi che possiedono le maggiori superfici di aree classificate a rischio idrogeologico (rielaborazione da REGIONE ABRUZZO - 2005.a).



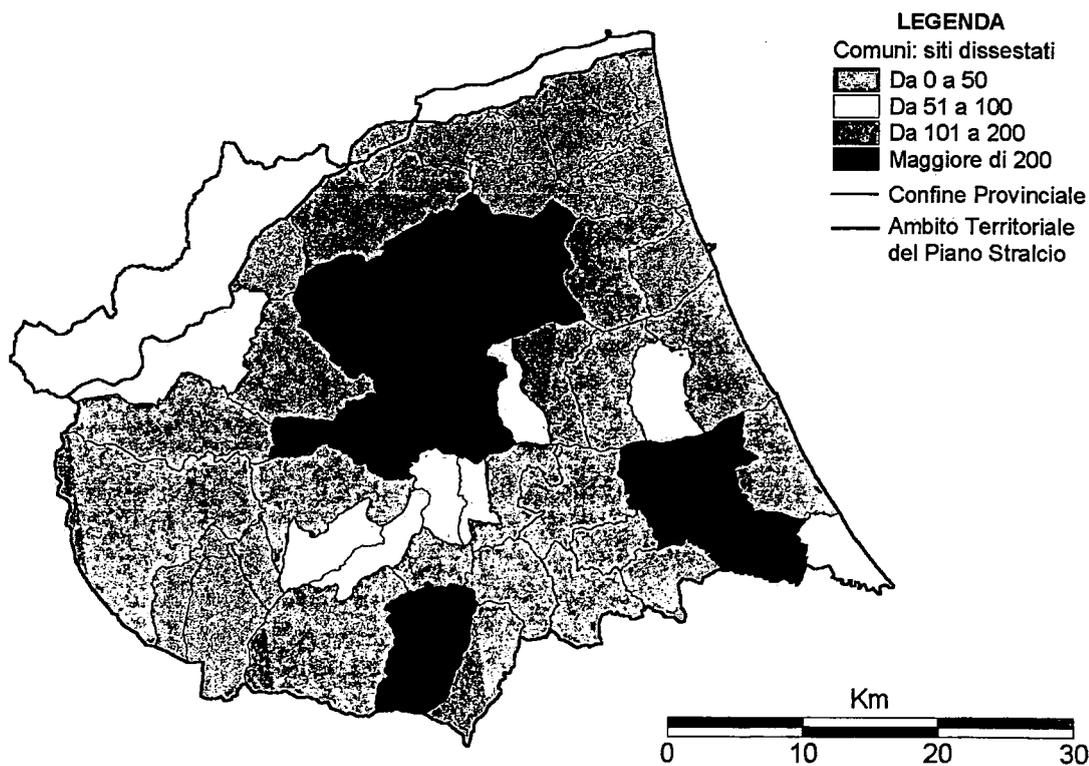


Fig. A.10.I - Distribuzione del numero di siti dissestati nei comuni della Provincia di Teramo (REGIONE ABRUZZO-2005.a)

Tale situazione di rischio e pericolosità è determinata fortemente dalla presenza di estese zone calanchive. Il T. Piomba risulta essere il bacino idrografico abruzzese (superiore ai 40 km² di superficie), con la maggior percentuale di aree calanchive o interessate da altre forme di dilavamento in rapporto alla superficie totale, come evidenziato dalla tabella seguente

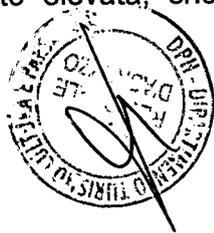


| BACINO | Sup (Km ²) Bacino | Sup (Km ²) Calanchi e altre forme di dilavamento | % | Sup (Km ²) Frane da crollo e ribaltamento | % | Sup (Km ²) Frane di scorimento traslativo e rotazionale | % | Sup (Km ²) frane di colamento | % |
|----------------|----------------------------------|--|--------------|--|---------------|---|--------------|---|--------------|
| Vibrata | 112 | 1,09 | 0,97% | 0,00 | 0,00% | 1,07 | 0,96% | 0,03 | 0,03% |
| Salinello | 180,2 | 7,2 | 4,00% | 0,00 | 0,00% | 9,38 | 5,21% | 1,77 | 0,98% |
| Tordino | 447,9 | 22,98 | 5,13% | 0,13 | 0,03% | 29,28 | 6,54% | 1,97 | 0,44% |
| Vomano | 790,1 | 37,58 | 4,76% | 0,39 | 0,05% | 57,44 | 7,27% | 6,26 | 0,79% |
| Piomba | 107 | 8,59 | 8,03% | 0,08 | 0,07% | 9,65 | 9,02% | 2,49 | 2,33% |
| Saline | 616,2 | 10,7 | 1,74% | 0,05 | 0,01% | 41,58 | 6,75% | 15,36 | 2,49% |
| Aterno-Pescara | 3173,2 | 175,36 | 5,53% | 8,15 | 0,26% | 100,12 | 3,16% | 45,50 | 1,43% |
| Alento | 119,2 | 4,3 | 3,61% | 0,39 | 0,33% | 14,64 | 12,28% | 1,19 | 1,00% |
| Foro | 237,1 | 0,43 | 0,18% | 0,09 | 0,04% | 36,45 | 15,37% | 0,44 | 0,19% |
| Arielli | 40,1 | 0,07 | 0,17% | 0,00 | 0,00% | 0,63 | 1,57% | 0,06 | 0,15% |
| Moro | 72 | 1,28 | 1,78% | 0,07 | 0,10% | 21,98 | 30,53% | 0,20 | 0,28% |
| Feltrino | 47,5 | 0,16 | 0,34% | 0,00 | 0,00% | 11,70 | 24,63% | 0,005 | 0,01% |
| Sangro | 1766,7 | 62,5 | 3,54% | 8,37 | 0,47% | 106,83 | 6,05% | 94,16 | 5,33% |
| Osento | 127,6 | 3,1 | 2,43% | 0,01 | 0,01% | 6,55 | 5,13% | 3,72 | 2,92% |
| Sinello | 319,1 | 10,25 | 3,21% | 0,07 | 0,02% | 24,56 | 7,70% | 18,49 | 5,79% |
| Bacini minori | 368,5 | 8,24 | 2,24% | 0,17 | 0,05% | 30,57 | 8,30% | 0,64 | 0,17% |
| TOTALE | 8522,4 | | | | | | | | |
| BACINO | Sup (Km ²) Bacino | Sup (Km ²) Frane di genesi complessa e di trasporto di massa | % | Sup (Km ²) Versante interessato da deformazione superficiali lente | % | Sup (Km ²) Versante interessato da deformazione profonda | % | | |
| Vibrata | 112 | 0,05 | 0,04% | 3,77 | 3,37% | 0,00 | 0,00% | | |
| Salinello | 180,2 | 0,00 | 0,00% | 15,03 | 8,34% | 0,00 | 0,00% | | |
| Tordino | 447,9 | 0,00 | 0,00% | 25,58 | 5,71% | 1,29 | 0,29% | | |
| Vomano | 790,1 | 1,05 | 0,13% | 40,93 | 5,18% | 3,56 | 0,45% | | |
| Piomba | 105 | 0,02 | 0,02% | 12,51 | 11,91% | 0,00 | 0,00% | | |
| Saline | 616,2 | 1,10 | 0,18% | 43,29 | 7,03% | 0,00 | 0,00% | | |
| Aterno-Pescara | 3173,2 | 11,37 | 0,36% | 46,42 | 1,46% | 18,31 | 0,58% | | |
| Alento | 119,2 | 1,56 | 1,31% | 12,95 | 10,86% | 0,00 | 0,00% | | |
| Foro | 237,1 | 8,69 | 3,67% | 11,32 | 4,77% | 0,00 | 0,00% | | |
| Arielli | 40,1 | 0,54 | 1,35% | 1,14 | 2,84% | 0,00 | 0,00% | | |
| Moro | 72 | 1,85 | 2,57% | 3,76 | 5,22% | 0,00 | 0,00% | | |
| Feltrino | 47,5 | 0,22 | 0,46% | 1,85 | 3,89% | 0,04 | 0,08% | | |
| Sangro | 1766,7 | 48,03 | 2,72% | 72,68 | 4,11% | 5,01 | 0,28% | | |
| Osento | 127,6 | 0,02 | 0,02% | 24,87 | 19,49% | 0,01 | 0,01% | | |
| Sinello | 319,1 | 3,87 | 1,21% | 52,15 | 16,34% | 0,00 | 0,00% | | |
| Bacini minori | 368,5 | 0,58 | 0,16% | 19,07 | 5,18% | 0,05 | 0,01% | | |

Tab. 6 - Distribuzione dei fenomeni areali di dissesto per bacino idrografico (rielaborazione da REGIONE ABRUZZO-2005.a)

Anche dal punto di vista della pericolosità e del rischio di alluvioni il territorio presenta forti debolezze strutturali. La lettura delle carte tematiche del *Piano Stralcio Difesa Alluvioni* della Regione Abruzzo, rivela che gran parte della fascia costiera risulta classificata a pericolosità P1 (moderata), P2 (media), P3 (elevata) o P4 (molto elevata).

In particolare nel comune di Pineto vaste aree sono classificate a pericolosità elevata o molto elevata, che si traducono in alti livelli di rischio. Tale situazione è solo in parte



imputabile alla vicinanza del Fiume Vomano, fiume di discrete dimensioni ed interessato da diversi problemi idraulici ed erosivi. L'alta pericolosità è dovuta soprattutto al T. Calvano ed al F.so Foggetta, oltre agli innumerevoli canali artificiali di drenaggio. La piana alluvionale del T. Calvano è classificata P3 e P4 fino alla confluenza dei due principali affluenti, interessando i popolosi quartieri di Borgo S. Maria e dei Fiori, lo svincolo autostradale a servizio dell'intero territorio, la ferrovia e la SS16-Adriatica.

Il basso corso del T. Piomba è classificato P1 fino a circa 200 m di quota, interessando aree ricadenti nei comuni di Atri, Città S. Angelo e Silvi.

Completano il quadro superfici più modeste classificate P4 nel bacino del F.so Cerrano e P2 nel bacino dei fossi minori Sud, entrambi ricadenti nel comune di Silvi.

A.10.1 Interazioni tra rischio idraulico e trasporto solido

Il "Bacino Regionale del Piomba" è un'unità idrografica impostata per larga parte su litotipi spiccatamente argillosi altamente erodibili.

La scarsa permeabilità dei substrati e le ridotte estensione dei bacini, determinano bassi tempi di corrivazione. Le vie di drenaggio minori e le valli e vallecole calanchive, possiedono un'alta capacità di trasporto solido a causa delle elevate pendenze e del piccolo diametro dei sedimenti. Le aste principali di fondo valle hanno invece pendenze notevolmente più basse, che tendono a far depositare i sedimenti riducendo la sezione utile di deflusso degli alvei principali.

In caso di eventi meteorici intensi, i depositi terrigeni sedimentati si possono movimentare, determinando eventi di piena in cui grosse portate liquide e solide possono arrivare velocemente alle piane alluvionali ed alle foci urbanizzate, che non riescono a smaltire idoneamente le portate di piena.

La banca dati on line¹³ "Progetto AVI – Aree Vulnerabili Italiane" del Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del CNR, contiene un censimento dei principali dissesti idrogeologici, corredato da un catalogo di schede informative sull'evento. I dati, consultabili per Regione, Provincia e Comune, sono divisi in due archivi: frane e piene. Nell'archivio delle piene sono censiti otto eventi alluvionali riguardanti i bacini idrografici appartenenti al "Bacino Regionale del Piomba", per quattro di questi la causa principale è stata individuata in un *sovralluvionamento d'alveo* (Tab. A.10.1.I).



Foto A.10.1.I – Trasporto di sedimenti nell'alveo del T. Calvano (C. Crocetti).



Foto A.10.1.II – I popolosi quartieri Borgo S. Maria e Nazioni nel Comune di Pineto, nati a ridosso dell'ultimo tratto del Torrente Calvano (C. Crocetti).

¹³ Sito del progetto AVI <http://avi.gndci.cnr.it>





Foto A.10.1.III – Depositi terrigeni nell'alveo del T. Calvano. (C. Crocetti).



| CODICE EVENTO | DATA | BACINO IDROGRAFICO | COMUNI COLPITI | LOCALITA' MAGGIORMENTE COLPITE | CAUSA PRINCIPALE | CAUSA SECONDARIA | ESTENSIONE EVENTO |
|---------------|------|--|-------------------------|---|---------------------------|---|------------------------------------|
| 5000002 | 1930 | Piomba | Silvi | Silvi | Evento meteorologico | Rotture arginature | evento localizzato |
| 7000002 | 1973 | Calvano | Pineto | Borgo S. Maria - Pineto | Evento meteorologico | | evento localizzato |
| 7000003 | 1978 | Calvano | Pineto | Borgo S. Maria | Evento meteorologico | Rotture arginature | evento localizzato |
| 11000006 | 1982 | Cerrano | Silvi | Silvi | Sovralluvionamento | | evento localizzato |
| 7000010 | 1992 | Calvano, Piomba, Cerrano, altri torrenti di Pineto | Pineto, Città S. Angelo | Borgo S. Maria - Pineto - Marina di Città S. Angelo | Evento meteorologico | Rotture arginature Ostruzione luce ponti | eventi generalizzati nella regione |
| 11000019 | 1999 | Piomba | Città S. Angelo | Marina di Città S. Angelo | Sovralluvionamento | | eventi generalizzati nella regione |
| 11000018 | 1999 | Calvano, Cerrano | Pineto, Silvi | Borgo S. Maria - Pineto - Cerrano - Silvi | Sovralluvionamento | | eventi generalizzati nell'area |
| 11000024 | 2000 | Calvano | Pineto | Forcone | Sovralluvionamento | | evento localizzato |

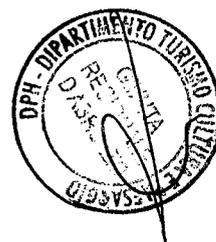
Tab. A.10.1.I – Eventi alluvionali nei bacini idrografici in esame censiti nell'archivio piene del Progetto AVI (rielaborazione da CNR-GNDICI – 1993).

Il Torrente Calvano è uno dei corsi d'acqua appartenenti al "Bacino Regionale del Piomba". Il suo bacino idrografico è il secondo per estensione e copre un'area di circa 35 km². Raggiunge la massima quota con i 461 m s.l.m. di Colle della Giustizia, ubicato alla testa del F.so S. Patrizio, uno dei suoi principali affluenti. Tale porzione sud-occidentale del bacino ricade parzialmente nella Riserva Naturale Regionale dei Calanchi di Atri.

Dal punto di vista amministrativo il T. Calvano scorre nei comuni di Atri e Pineto.

Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, climatiche, la matrice insediativa ed infrastrutturale viaria e le condizioni di uso del suolo, ricalcano quelle descritte in generale per l'intera unità idrografica.

Il T. Calvano è classificabile, secondo Stralher, come bacino idrografico di 5° ordine. Ha un reticolo con andamento sub-dendritico, che risulta sviluppato soprattutto nella parte collinare



dove sono presenti diverse aree calanchive. Una esigua piana alluvionale, densamente urbanizzata, è presente dalla confluenza tra l'asta principale ed il suo principale affluente (F.so Reilla). Il tratto di foce attraversa il centro di Pineto e risulta totalmente cementato dal ponte sulla SS16 fino al mare.

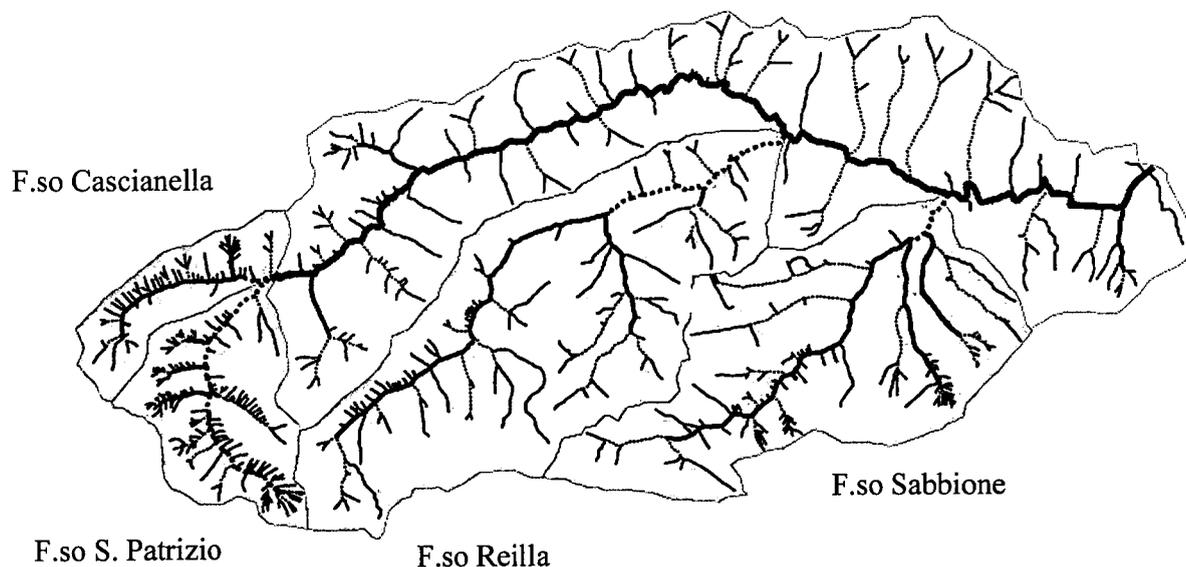


Fig. A.10.1.I – Bacino e reticolo idrografico del Torrente Calvano, con evidenziati i principali affluenti (GRAUSO, FATTORUSO, CROCETTI, MONTANARI – 2008).

Tra i bacini idrografici in esame la messa in sicurezza del T. Calvano appare fondamentale e strategica per l'intero territorio.

In un recente studio¹⁴ dell'ENEA in collaborazione con l'Università di Bologna, è stata effettuata una stima del *trasporto torbido unitario medio annuo* [tonn/anno*km²], definito come la media annua della massa del materiale solido trasportato in sospensione¹⁵ dal corso d'acqua, per unità di superficie del bacino.

La valutazione di tale parametro ha diversi risvolti pratici utili nella pianificazione e gestione del territorio e nella progettazione di interventi di messa in sicurezza. Il materiale solido trasportato da un corso d'acqua, può implicare una serie di effetti a valle quali: modifiche del suo profilo altimetrico e planimetrico e della sezione d'alveo, interrimento di laghi, ecc. In



¹⁴ GRAUSO S., FATTORUSO G., CROCETTI C., MONTANARI A. - 2008.

¹⁵ Il *trasporto torbido* (o *trasporto solido in sospensione*) non include il *trasporto per trascinarsi sul fondo* ed il *trasporto in soluzione*.

particolare i sedimenti erosi nei versanti possono accumularsi nel reticolo idrografico ostruendo il normale deflusso idraulico.

Il trasporto solido in sospensione rappresenta inoltre un indice, approssimato ed indiretto, del tasso di erosione medio dei terreni e delle rocce affioranti sui versanti di un bacino idrografico. È generalmente riconosciuto che tale parametro rappresenta circa il 90% della produzione totale di sedimenti in ambiti climatici tra l'arido e l'umido ed in prevalenza di substrati terrigeni (COOKE E DOORNKAMP - 1974)

Per ottenere una stima del tasso di erosione di versanti e bacini in cui non sono presenti idonee stazioni di misura, la letteratura scientifica propone diversi metodi sviluppati empiricamente¹⁶ o fisicamente¹⁷ basati. Tutti gli approcci tentano di quantificare i processi di produzione e trasporto dei sedimenti in base a diverse variabili topografiche, idrologiche, climatiche, litologiche, geomorfologiche o di uso del suolo. La scelta di applicare uno dei tanti modelli dipende dalla scala dell'area in esame¹⁸, ma anche dalla tipologia e dalla quantità dei dati disponibili.

I modelli fisicamente basati, necessitano infatti, di dettagliate schematizzazioni, che richiedono spesso ingenti dati di input di diversa natura (meteorologici, idraulici ed idrologici), che li rende a volte poco applicabili dal punto di vista pratico.

Per superare questo problema, diversi autori hanno mostrato l'efficacia di relazioni statistiche empiriche che legano il trasporto solido a parametri geomorfologici, idrologici o climatici facilmente disponibili¹⁹. La dipendenza tra la produzione annua di sedimenti e questi parametri, è spiegata attraverso le relazioni che esistono tra il clima, la configurazione del bacino e la topologia del reticolo idrografico. L'erosione del bacino è infatti favorita dal regime termo-pluviometrico, dall'erodibilità del substrato, dalla scarsa copertura vegetale.

In Italia ricerche in tal senso sono state condotte da Gazzolo e Bassi (1961, 1964), da Cavazza (1962, 1972) e da Ciccacci *et al.* (1977, 1980, 1987, 1988).

Questi ultimi hanno investigato la correlazione tra alcuni parametri geomorfo-climatici ed il trasporto torbido unitario medio annuo in 20 bacini idrografici italiani. Gli autori hanno riscontrato una significativa dipendenza con alcuni parametri geomorfici²⁰: la *densità di drenaggio*²¹ e l'*indice di anomalia gerarchica*²², individuando delle regressioni lineari semplici e multiple, che sono state calibrate e validate per i 20 bacini oggetto di studio.

Tali equazioni²³ sono state applicate al T. Calvano per ottenere una stima del trasporto torbido.

Tale corso d'acqua presenta caratteristiche simili a quelli utilizzati da Ciccacci *et al.* (1987) per tarare le regressioni lineari: i valori dei parametri geomorfici del T. Calvano rientrano negli

¹⁶ In cui attraverso analisi statistiche su un numero sufficiente di casi, si giunge ad una relazione che lega il tasso di erosione ad uno o più parametri.

¹⁷ In cui si ricercano espressioni matematiche che modellizzano determinati fenomeni fisici.

¹⁸ Unversante, un bacino idrografico di limitata estensione, o indagini a scala regionale, nazionale o internazionali.

¹⁹ Tra cui si ricordano in ambito internazionale le ricerche e gli studi di ANDERSON (1957), LANGBEIN & SCHUMM (1958), FOURNIER (1960), DOUGLAS (1968), ICHIM & RADOANE (1987) e RESTREPOA *et al.* (2006).

²⁰ Per *parametri geomorfici* si intendono indici morfometrici che descrivono le caratteristiche di un bacino di drenaggio e del suo reticolo idrografico (ad es. densità di drenaggio, gradiente di pendio, indice di biforcazione, densità di anomalia gerarchica, ecc.).

²¹ *Densità di drenaggio (Dd)* [km^{-1}]: definita come il rapporto tra la lunghezza del reticolo idrografico e l'area del bacino (HORTON, 1945).

²² Parametro adimensionale (Δa) che dà un'indicazione dell'organizzazione e gerarchizzazione di un reticolo idrografico (AVENA *et al.*, 1967).

²³ Le equazioni utilizzate per stimare la Produzione di Sedimenti Sospesi (PSS) sono le seguenti:

$$PSS = 10^{0,33 Dd + 0,1 \Delta a + 1,45}$$

$$PSS = 10^{0,34 Dd + 1,52}$$



stessi intervalli; le condizioni climatiche, geologiche ed idrologiche sono paragonabili e l'estensione del bacino appartiene all'intervallo di ordini di grandezza considerato dagli autori.

Va precisato che il metodo utilizzato fornisce una stima annua della produzione di sedimenti solidi sospesi e non considera eventi localizzati nello spazio e nel tempo, come una frana, che possono ulteriormente contribuire alla produzione di sedimenti. Le regressioni utilizzate sono quindi adatte a casi in cui il contributo principale al trasporto torbido proviene da erosione diffusa. È questo il caso dei 20 bacini idrografici indagati da Ciccacci et al. (1987) ed anche di quello del T. Calvano. La produzione di sedimenti proveniente da eventi localizzati deve essere eventualmente valutata separatamente.

La produzione di sedimenti solidi sospesi stimata per il T. Calvano è di circa 800 tonn/anno*km² (Tab A.10.1.II), valore prossimo a quelli misurati in diversi bacini idrografici abruzzesi e marchigiani del versante adriatico (LUPIA PALMIERI – 1983).

| | Area [km ²] | P. S. S. ²⁴ [tonn/anno*km ²] | P. S. S. Totale [tonn/anno] |
|---------|-------------------------|---|-----------------------------|
| CALVANO | 34,85 | 793 | 27619 |

Tab A.10.1.II – Stima della produzione di sedimenti solidi sospesi per l'intero bacino del Torrente Calvano (GRAUSO, FATTORUSO, CROCETTI, MONTANARI – 2008).

In un bacino idrografico i sedimenti erosi confluiscono nel suo reticolo, dove vengono in parte trasportati ed in parte rideposti lungo il corso d'acqua. Comparando la stima del trasporto torbido in diversi sottobacini, possiamo avere una valutazione delle aree maggiormente soggette ad erosione e della quantità di sedimenti depositati lungo il reticolo idrografico. Il F.so S. Patrizio ed il F.so Cascianella risultano i sottobacini che presentano i maggiori tassi di erosione e le maggiori quantità di sedimenti sospesi prodotti. Considerando che questi due affluenti danno origine all'asta principale del corso d'acqua possiamo affermare che il tratto successivo alla loro confluenza è il più critico in termini di deposizione di sedimenti lungo l'alveo.

| Sottobacino | Area [km ²] | P.S.S. [tonn/anno*km ²] | P.S.S. Totale [tonn/anno] |
|--|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Cascianella | 1,48 | 4262 | 6308 |
| S. Patrizio | 2,69 | 9905 | 26645 |
| Reilla | 8,89 | 426 | 3785 |
| Sabbione | 7,16 | 659 | 4718 |
| | | <i>Subtotale</i> | 41455 |
| Bacino principale parziale ²⁵ | 14,63 | 481 | 7037 |
| | | TOTALE | 48492 |

Tab A.10.1.III – Stima della produzione di sedimenti solidi sospesi per i diversi sottobacini del Torrente Calvano (GRAUSO, FATTORUSO, CROCETTI, MONTANARI – 2008).

²⁴ *Produzione di Sedimenti Sospesi (P. S. S.):* produzione di sedimenti solidi sospesi.

²⁵ Si tratta dell'area chiara della figura A.10.1.I, ossia il bacino del T. Calvano meno le superfici dei suoi principali affluenti, considerato come un bacino a se stante.



Si noti che la stima ottenuta applicando il metodo all'intero bacino è inferiore alla somma della produzione dei singoli sottobacini.

Ciò si spiega con la differente entità della densità di drenaggio, che risulta ad esempio inferiore se calcolata per l'intero bacino ($Dd=4,05 \text{ km}^{-1}$) o come media dei suoi sottobacini ($Dd=4,99 \text{ km}^{-1}$). Questo produce una riduzione del 43% della stima ottenibile dal calcolo dell'intero bacino rispetto alla somma dei sedimenti prodotti dai suoi sottobacini più quelli del bacino principale parziale. Tale risultato indica una potenziale deposizione dei sedimenti lungo l'asta principale di significativa entità.

Analizzando i sottobacini in cui troviamo estese aree calanchive, è stato valutato il peso relativo che tali zone hanno sulla produzione totale di sedimenti sospesi. Tali sottobacini rappresentano il 42% della superficie del Calvano e si può stimare che siano responsabili di almeno il 44% del trasporto torbido totale.

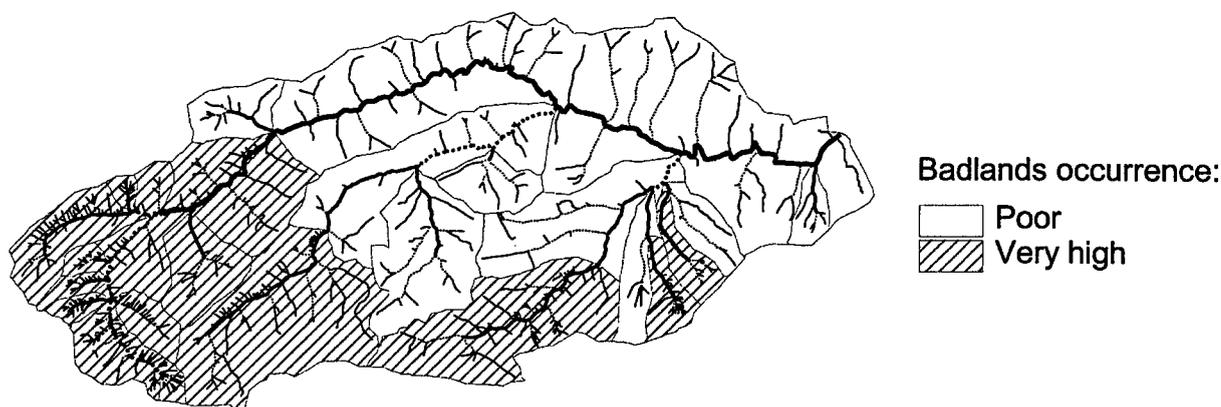


Fig. A.10.1.II – Localizzazione dei sottobacini idrografici caratterizzati da forte presenza di aree calanchive (*badlands*), (GRAUSO, FATTORUSO, CROSETTI, MONTANARI – 2008).

I calanchi si trovano soprattutto nei versanti esposti a meridione. Anche un'analisi della relazione tra produzione di sedimenti sospesi ed esposizione prevalente dei bacini, rivela una maggior propensione all'erosione per i bacini esposti a sud. La media del trasporto torbido unitario per quest'ultimi è infatti pari a circa $1480 \text{ tonn/anno*km}^2$ mentre per quelli esposti a nord è di circa $400 \text{ tonn/anno*km}^2$. Anche la semplice analisi delle medie delle densità di drenaggio, rivelano maggior erodibilità dei bacini esposti a meridione²⁶.

Nel bacino del T. Calvano, come in tutta l'unità idrografica oggetto di studio, sono presenti numerosi laghi collinari che raccolgono l'acqua drenata dai versanti e dai reticoli idrografici, per utilizzarla a scopi irrigui. Trenta di questi laghi sono costruiti direttamente negli alvei dei rami secondari raccogliendo acqua e sedimenti provenienti dalle vie di drenaggio a monte. L'area drenata da questi laghi è pari a circa $8,3 \text{ km}^2$, corrispondente al 24% della superficie totale del bacino. La produzione annua di sedimenti sospesi provenienti da tali aree è stimata in circa 4740 tonn/anno . Assumendo che la totalità di questi sedimenti venga intrappolata nei laghi, si può affermare che questi catturano il 17% del trasporto torbido annuale. Questi dati evidenziano il ruolo che questi piccoli laghi collinari hanno nel bacino idrografico, funzionando di fatto come dei volani per le portate liquide e solide.

²⁶ La media della densità di drenaggio dei bacini esposti prevalentemente a sud è pari a $4,6 \text{ km}^{-1}$, mentre la media di quelli esposti prevalentemente a nord è di circa $3,1 \text{ km}^{-1}$.

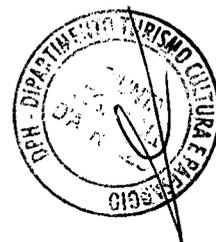
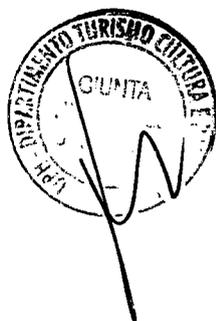




Fig. A.10.1.III – Le aree tratteggiate corrispondono a porzioni del bacino idrografico chiuse da un lago in alveo.
(GRAUSO, FATTORUSO, CROCETTI, MONTANARI – 2008).



PARTE B: STRUMENTI PER APPROCCI SOSTENIBILI ALLA DIFESA DEL SUOLO

Come è stato evidenziato nei paragrafi precedenti, il territorio di Atri e dei comuni limitrofi è un'area geologicamente molto giovane, caratterizzata dalla presenza di litologie altamente erodibili e dalle caratteristiche geotecniche spesso scadenti; con una morfologia ed un'orografia accidentata ed una situazione climatica che determinano una notevole propensione all'erosione diffusa ed al dissesto idrogeologico. La situazione derivante da questo delicato assetto strutturale, risulta a volte aggravata da fattori antropici, largamente diffusi nella penisola italiana.

Possiamo definire i *dissesti idrogeologici*²⁷ come situazioni di mancanza di equilibrio stabile del suolo dovuti a processi esodinamici e morfogenetici del territorio che si svolgono attraverso le varie fasi naturali di alterazione, trasporto e deposito del terreno ad opera degli agenti erosivi o attraverso la modificazione degli equilibri idraulici nei bacini idrografici (SANNA - 2003).

La Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo nella Relazione Conclusiva (c. d. Commissione "De Marchi", AA. VV - 1970) definisce i dissesti idrogeologici come: "quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti fino alle forme imponenti e gravi delle frane".

Con questa espressione si indicano quindi squilibri nell'assetto geomorfologico o idraulico di un territorio, che possono manifestarsi con eventi, anche catastrofici, che minacciano il benessere e la sicurezza delle popolazioni e possono modificare pesantemente il paesaggio e l'ambiente.

L'uomo tende a rispondere a questi dissesti con azioni che costituiscono le varie fasi di **previsione, prevenzione e mitigazione** del rischio, sintetizzati nell'espressione: **difesa del suolo**, con cui possiamo intendere "ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica ed antropica; ed ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressioni dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici" (AA. VV. - 1970).

Con il termine "suolo" non si intende solo lo strato superficiale di terreno fertile, ma anche "...il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati, e le opere infrastrutturali" così come definito dalla legge quadro sulla difesa del suolo n. 183/89.

È bene precisare che i così detti "dissesti idrogeologici" sono eventi del tutto naturali, che appartengono alla dinamica terrestre e che spesso sono parte di movimenti ben più vasti e cospicui, difficilmente rilevabili alla scala umana, contro cui l'intervento antropico è impotente e vano. Le azioni di difesa del suolo hanno quindi a volte la sola funzione di "rallentare" le dinamiche in atto, in modo da rendere porzioni della crosta terrestre "stabili" per un tempo corrispondente all'arco di qualche generazione al massimo, ossia per tempi compatibili alla gran parte delle attività antropiche.

L'azione antropica sul suolo e sul territorio purtroppo tende spesso nella direzione opposta, innescando o accelerando eventi naturali catastrofici e rendendo il territorio vulnerabile a causa di variazioni del suo assetto geo-idrologico.

Le attività umane possono, ad esempio, modificare in maniera sostanziale la capacità d'infiltrazione del bacino con l'urbanizzazione, che aumenta le superfici impermeabili, il

²⁷ O *dissesti geo-idrologici*, vv. nota 3.



disboscamento e pratiche agricole intensive. La costruzione di infrastrutture e reti tecnologiche, il sovraccarico mediante manufatti di versanti o il loro sbancamento al piede, sono spesso innesco di processi franosi e di erosione. La rete idrografica e di drenaggio può essere modificata per cause antropiche, incanalando fiumi e torrenti e tagliando il territorio con reti stradali, che costituiscono una via privilegiata per i deflussi liquidi. L'asportazione di inerti dall'alveo dei fiumi altera il trasporto solido, provocando ablazione delle aste fluviali e ritiro della linea di costa. Lo spazio necessario alle naturali zone di espansione fluviali si riduce a causa di urbanizzazioni, dell'installazione di attività industriali e/o agricole o addirittura di speculazioni edilizie.

Dagli anni Cinquanta e Sessanta questi fenomeni si sono intensificati. Lo sviluppo industriale e demografico ha aumentato la "fame" di terra. Sui migliori terreni agricoli di fondo valle sono sorte zone industriali e residenziali. Aree prima considerate marginali perché troppo acclivi, sono state disboscate e lavorate per permettere attività agro-silvo-pastorali. Si è verificato, quindi, un uso sempre più intenso di aree vulnerabili di controllo del rischio idrogeologico, dove l'equilibrio naturale è stato sostituito da uno antropico, grazie all'azione di agricoltori, pastori e montanari. La pressione sul territorio è quindi aumentata con lo sviluppo demografico e con pratiche agricole sempre più intensive (superfici arate sempre più ampie e prive di alberi, eliminazione di siepi, scoline e fossi, uso di pesanti macchine agricole, profonde lavorazioni del terreno, ecc.). L'esodo dalle aree rurali nei decenni successivi, ha determinato un abbandono dei terreni acclivi e delle opere di presidio e di sistemazione idraulico-agraria ed un degrado dei boschi e dei rimboschimenti effettuati negli anni addietro.

L'importanza economica degli squilibri relativi al "sistema suolo" sono di solito molto elevati, ma spesso sottovalutati, soprattutto sul medio-lungo periodo. L'interesse economico immediato guida spesso le dinamiche d'azione sociali e politiche verso il territorio. L'evoluzione dei nostri modelli di vita e di pensiero e dei nostri comportamenti sociali impoveriscono, da una sessantina d'anni, molti ecosistemi naturali, con una conseguente uniformazione e banalizzazione. Il territorio perde la sua capacità di svolgere al meglio le sue funzioni di difesa del suolo assorbendo adeguatamente i disturbi naturali, che potrebbero avere invece effetti contenuti. Così sarebbe invece se, ad esempio, l'acqua di piogge, anche eccezionali, trovasse a riceverla un suolo con una idonea copertura vegetale e manufatti ed opere di regimazione e sistemazione adeguate, efficienti ed in buono stato.

Il rischio idrogeologico di un territorio è maggiore dove la naturale tendenza alla "metastabilità" e la capacità di assorbire disturbi esterni, sono compromesse o affidate in maniera preponderante ad opere di difesa artificiali, di dimensioni inadeguate, in condizioni di efficienza ridotta od in cattivo stato. Tali opere possono risultare insufficienti ad assorbire i carichi a cui sono sottoposte. È questo, ad esempio, il caso di sezioni d'alveo costruite nei tratti di pianura dei corsi d'acqua incapaci di smaltire le piene, perché le portate liquide e solide risultano aumentate. Questo a causa di una scorretta pianificazione, gestione e manutenzione del territorio e della rete idrografica, soprattutto nelle parti alte del bacino.

Per risolvere le problematiche connesse ai dissesti idrogeologici, le soluzioni tecniche esistono, ma pareri ed interessi discordi, creano contrasti e discussioni che rallentano e spesso bloccano ogni iniziativa o, peggio ancora, portano a scelte costose, temporanee e completamente artificiali. Gli interventi sistematori, sono inoltre legati spesso a leggi speciali e non ordinarie, provocando una mancanza di continuità nei finanziamenti.

Questi fattori portano ad interventi episodici che impediscono uno sviluppo unitario, programmato nel tempo e coordinato nello spazio, in modo da ottenere effetti estesi e duraturi.



E' fondamentale, quindi, un'attenta pianificazione e gestione del territorio con interventi unitari, basati su un approccio sistemico; analizzando il legame tra le varie parti del bacino e quindi il reciproco condizionamento degli interventi nei vari tratti, così come prevede la legge quadro sulla difesa del suolo n. 183/89.

Negli ultimi decenni sono state privilegiate politiche emergenziali, realizzando soprattutto opere intensive per la riduzione del rischio nelle pianure, dove maggiore è la densità della popolazione e del patrimonio pubblico e privato. E' stato spesso trascurato un approccio sistemico basato sul lungo periodo, con sistemazioni estensive ed intensive lungo tutto il bacino, con particolare cura delle parti alte, dove i fenomeni di dissesto iniziano a manifestarsi e dove gli interventi agiscono sulle sue cause (CORNELINI - 2002).

Si riduce così in maniera diretta la possibilità di accadimento di un evento calamitoso e la sua intensità. La sistemazione della parte montana e collinare dei bacini è necessaria per contrastare rischi idraulici e fenomeni erosivi che costituiscono un pericolo in sé e fanno perdere ogni anno tonnellate di suolo fertile.

Una sistemazione estensiva dei bacini idrografici ed una corretta gestione del territorio sono premesse indispensabili, perché aumentano l'efficacia dei provvedimenti puntuali di difesa dalle piene nei tratti di pianura dei corsi d'acqua. Il risultato è un miglioramento delle condizioni idrauliche a valle, con diminuzione della richiesta di difese passive (argini, casse di espansione, ecc.) e notevole decremento dei costi diretti ed indiretti (CORNELINI - 2002).

Per affrontare le problematiche di difesa del suolo, occorre attivare un'oggettiva analisi dello stato di fatto, che cerchi di individuare le aree e le cause del dissesto e suggerisca scelte tecniche che favoriscano quanto possibile la capacità degli ecosistemi naturali di assorbire i disturbi esterni. Occorre effettuare interventi ed azioni puntuali ed a scala di bacino, volti alla riduzione del rischio idrogeologico, utilizzando sia tecniche tradizionali che innovative. Elaborare scelte di piano e vincoli adeguati, evitando destinazioni d'uso che contrastino con le attitudini del suolo, valutando anche eventuali rilocalizzazioni di strutture presenti. Realizzare opere puntuali di regimazione delle acque e di stabilizzazione dei versanti abbinandole ad un'adeguata manutenzione del territorio estesa a tutto il bacino idrografico.

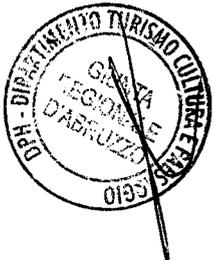
Tale modalità d'azione può risultare duratura ed efficace, assumendo inoltre un valore ecologico, sociale ed economico intrinseco (in aggiunta agli obiettivi primari di messa in sicurezza), se si usano metodi e tecniche basati anche sulla biologia e l'ecologia, con approcci ecosistemici e transdisciplinari²⁸.

Verso la "risorsa suolo" le attenzioni crescono, forse perché le situazioni di degrado stanno assumendo una certa rilevanza, trovando riscontro in noti eventi di cronaca nazionale (cfr. *i catastrofici eventi della provincia di Messina e della Versilia nel 2009*), ma anche nella quotidianità di territori, come quello atriiano, in cui le situazioni di dissesto idrogeologico creano continui danni e disagi.

B.1 Manutenzione diffusa del territorio

Le norme tecniche dell'**UNI** (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) definiscono la *manutenzione* come la combinazione delle azioni tecniche ed amministrative, incluse quelle di supervisione, volte a mantenere o a riportare un sistema in uno stato in cui possa eseguire le funzioni richieste (**UNI 9910, 10147**)

²⁸ Inteso come contributo concorrente di varie discipline; in contrapposizione a multidisciplinare: contributo parallelo di varie specialità.



La attività manutentive comportano:

- il *ripristino*: recupero da parte del sistema della propria attitudine ad eseguire una funzione richiesta (UNI 9910);
- la *riparazione*: intervento, rinnovo o sostituzione di uno o più componenti danneggiati per riportare un sistema alle condizioni stabilite (UNI 10147);
- il *miglioramento*: insieme di azioni di miglioramento o di piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale del sistema (UNI 10147).

Nell'ambito della manutenzione del territorio tale definizione è da applicare sia alle opere idrauliche e di difesa dei versanti, come al sistema naturale, nel senso di ripristino, riparazione e miglioramento delle normali funzioni ecologiche di un ecosistema.

A tal proposito sono esemplificativi le indicazioni fornite da diverse autorità di bacino italiane²⁹, in particolare la *definizione di manutenzione* dell'**Autorità di Bacino Fiume Po**, ovvero l'insieme di "tutte le azioni volte al mantenimento ed al ripristino della funzionalità ecologica del territorio oltre alla funzionalità idraulica di tutte le opere, manufatti, e strutture" estese all'intero bacino idrografico. In tal senso gli interventi di rinaturalizzazione vengono considerati attività di manutenzione del territorio³⁰.

Particolarmente significative sono anche le indicazioni dell'**Autorità di Bacino Fiume Adige** che definisce il "*mantenimento migliorativo*" del "sistema dinamico complesso" formato dal "territorio e da tutte le sue opere di difesa del suolo e di infrastrutturazione"³¹. Le finalità degli interventi manutentivi sono quindi la conservazione dell'efficienza delle opere di sistemazione idraulica, ma anche il ripristino della naturalità degli alvei, tutelandone la biodiversità e ricostituendo le cenosi di vegetazione spontanea.

In questa ottica tra gli interventi di manutenzione rientrano anche:

- le opere che garantiscono un miglior assetto e stabilità dei versanti, incluse le sistemazioni idraulico-forestali ed idraulico-agrarie;
- le opere di gestione del territorio finalizzate a ricostituire o migliorare boschi o zone a verde;
- la rinaturalizzazione delle aree abbandonate dall'agricoltura;
- il mantenimento della vitalità delle colture tradizionali;
- la rinaturalizzazione dei sottobacini.

Per l'**Autorità di Bacino Fiume Arno** gli interventi di *manutenzione idraulica e idrogeologica* e di *sistemazione e difesa del suolo*, oltre a "garantire la massima funzionalità ai fini della mitigazione della pericolosità e del rischio"³², devono seguire i seguenti criteri:

- la protezione e recupero dei biotopi locali e delle specie rare ed endemiche;
- la conservazione della diversità morfologica, anche al fine di preservare biocenosi ricche e diversificate;
- la conservazione ed il miglioramento delle condizioni di naturalità dei corsi d'acqua;
- la conservazione e messa a dimora di specie compatibili con la buona officiosità idraulica, la sicurezza e la manutenzione dell'alveo;

²⁹ Per un approfondito studio comparato dell'approccio alla manutenzione del territorio nei documenti di diverse Autorità di Bacino Nazionali confronta Cornellini P. *Criteri e tecniche per la manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico* Min. Amb (2002).

³⁰ Comitato di consultazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

³¹ Progetto preliminare stralcio (Adb Adige).

³² Norme di attuazione PAI (Adb Arno).



- la conservazione e creazione di corridoi biologici;
- la naturalità delle opere sistematorie, al fine di limitare l'uso di elementi strutturali, che perturbino sensibilmente la naturalità dei siti;
- la conservazione e sviluppo dei processi autodepurativi.

L'**Autorità di Bacino fiumi Liri Garigliano e Volturno** nel Piano di mitigazione del rischio frane, definisce la *manutenzione* come "l'insieme delle attività che hanno la funzione di ridurre la probabilità di frane di piccole dimensioni e di mitigare gli effetti di fenomeni di più rilevante estensione"³³. Si esplica attraverso una serie di interventi limitati e può essere riferita sia al territorio che alle opere su di esso esistenti.

Il Piano di Assetto Idrogeologico³⁴ dell'**Autorità di bacino della Regione Abruzzo e del Fiume Sangro** contiene indicazioni il cui scopo è quello di migliorare la "compatibilità tra la naturale dinamica idrogeomorfologica di bacino e le aspettative di utilizzo del territorio".

L'Autorità di bacino abruzzese considera di "rilevanza strategica la *manutenzione del territorio*", da attuare favorendo in via prioritaria lo sviluppo di "azioni diffuse di comportamento volte a prevenire e non aggravare lo stato di dissesto dei versanti, nonché ad aumentare l'efficienza idrogeologica del suolo e della copertura vegetale" e "la manutenzione periodica delle opere strutturali esistenti".

Vengono inoltre definite "modalità di gestione del territorio" compatibili con le dinamiche naturali di evoluzione dei versanti che "determinino migliori condizioni di equilibrio" e vengono disciplinate "le attività antropiche e l'impiego delle risorse allo scopo di rendere compatibili le utilizzazioni del territorio", attraverso "misure e vincoli" da considerare "complementari agli interventi strutturali".

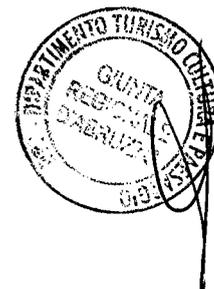
Il Piano stralcio *Fenomeni erosivi e processi gravitativi*, contiene indirizzi tecnici inerenti la programmazione di interventi di difesa del suolo e la loro progettazione, realizzazione e manutenzione. A tal fine vale l'indicazione generale di utilizzare preferibilmente tecniche a basso impatto ambientale (art. 9, co. 3 - *Norme di Attuazione*). Tra gli indirizzi generali di assetto di bacino, troviamo l'indicazione di sottoporre a rivegetazione, mediante inerbimento e messa a dimora di specie vegetali autoctone, le superfici interessate da fenomeni gravitativi o con vegetazione diradata. (art. 5, co. 7, lett. C - *Norme di Attuazione*).

All'Allegato C delle Norme di attuazione "*Indirizzi tecnici in materia di programmazione, realizzazione e manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere e degli interventi di difesa del suolo di cui al Quaderno delle Opere Tipo*", troviamo prescrizioni e specifiche tecniche, di seguito sintetizzati.

- Fatto salvo l'aspetto prioritario dell'incolumità delle persone, gli interventi in materia di difesa del suolo devono essere progettati e realizzati in considerazione delle esigenze di salvaguardia e tutela dell'ambiente.
- Gli interventi e le opere di difesa del suolo devono contemporaneamente rispondere a criteri di messa in sicurezza del territorio e di minimo impatto ambientale. L'approfondita valutazione delle possibili soluzioni progettuali deve sempre privilegiare l'utilizzo delle tecniche dell'ingegneria naturalistica.
- La realizzazione di opere estensive dovrà comprendere l'analisi delle caratteristiche ecologiche e meccaniche dei materiali inerti o vivi utilizzati.

³³ Piano Straordinario di mitigazione rischio frane (AdB Liri, Garigliano, Volturno).

³⁴ Piano stralcio Difesa alluvioni e Piano stralcio Fenomeni gravitativi e processi erosivi (AdB Regione Abruzzo e F. Sangro).



- Il progetto d'intervento di opere intensive non dovrà limitarsi al perimetro del dissesto, ma dovrà estendersi anche alle zone a margine allo scopo di prevenire altri dissesti capaci di interessare l'area dell'intervento principale. Tale intervento preventivo si baserà di norma su tecniche di ingegneria naturalistica.
- Le strutture di sostegno in cemento armato verranno realizzate solo nei casi in cui le caratteristiche del dissesto e della presenza umana sul territorio impongano tale scelta quale unica soluzione.
- Bisogna prevedere il ripristino ambientale dell'area interessata dal cantiere ed i movimenti di terra vanno risistemati a verde mediante l'uso di specie vegetali autoctone
- Negli interventi di manutenzione delle opere esistenti si tenderà, al massimo a sostituire o integrare i manufatti tradizionali con altri realizzati con tecniche d'ingegneria naturalistica o che comunque provvedano alla minimizzazione dell'impatto ambientale. Negli interventi di consolidamento che si avvalgono di tali tecniche, occorre definire, ove necessario, gli interventi periodici di governo della vegetazione.

Il piano stralcio *Difesa Alluvioni* specifica che gli interventi di sistemazione, regimazione e manutenzione idraulica devono essere progettati sulla base della Delib. G. R. 30.03.01, n. 494 "Atti di indirizzo, criteri e metodi per la realizzazione di interventi sui corsi d'acqua della Regione Abruzzo", che contiene riferimenti espliciti alle tecniche di ingegneria naturalistica

Dalle definizioni di manutenzione e dalle indicazioni delle autorità di bacino, brevemente illustrate emergono con chiarezza i seguenti **principi di base**:

- L'attività di manutenzione riguarda l'intero territorio del bacino; le opere estensive di sistemazione dei bacini sono la premessa indispensabile ai provvedimenti intensivi di difesa degli abitati e delle campagne dalle piene nei tronchi di pianura dei corsi d'acqua; in questo modo si può agire sulle portate di piena (decapitandone il colmo) e sul trasporto solido (attenuando l'erosione dei bacini e degli alvei).
- La manutenzione non si limita al ripristino delle capacità di deflusso, ma riguarda anche la rinaturalizzazione dell'alveo, la tutela della biodiversità, la ricostituzione delle cenosi dell'ambiente fluviale e la sua riqualificazione. "La funzionalità degli ecosistemi, la tutela della continuità ecologica, la conservazione e l'affermazione delle biocenosi autoctone" devono essere garantite³⁵. L'obiettivo generale è quindi quello di "mantenere in buono stato idraulico ed ambientale gli alvei fluviali, in buone condizioni idrologiche i versanti ed in efficienza le opere idrauliche e quelle di sistemazione idrogeologica"³⁶.
- La manutenzione va distinta in *ordinaria* e *straordinaria*. Quella *ordinaria* concerne la manutenzione continua e periodica con progetti solitamente di modeste dimensioni, "realizzati da soggetti, anche non istituzionali, legati al territorio" e affidati con procedure diverse da quelle dei grandi appalti. La manutenzione *straordinaria* è "caratterizzata da interventi non necessariamente periodici, volti al ripristino delle funzionalità idraulico-ambientali del territorio", da affidare con procedure tradizionali³⁷.
- Un approccio emergenziale basato su interventi straordinari è antitetico ad una realtà in continua evoluzione. La continuità nella disponibilità di risorse finanziarie è fondamentale per una manutenzione efficace.

³⁵ Relazione al Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

³⁶ Programma di rilancio degli Interventi di Manutenzione - Autorità di bacino del fiume Po.

³⁷ Comitato di consultazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.



- Gli interventi di sistemazione e manutenzione vanno eseguiti il più possibile con tecniche di ingegneria naturalistica. Il ricorso prioritario a tali tecniche è previsto nel Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo ed, a livello nazionale, dalle A.d.B. del Po, Arno, Adige, Serchio, Alto Adriatico e Liri, Garigliano, Volturno

La manutenzione del territorio prevede linee guida d'intervento che possiamo così schematizzare (CORNELINI - 2002):

- curare la efficace manutenzione delle opere di difesa idraulica e idrogeologica esistenti;
- conservare il buon regime idraulico dei corsi d'acqua e favorire la creazione di nuove aree di esondazione;
- ripristinare la naturalità dei corsi d'acqua tutelandone il ruolo di corridoi ecologici ricostituendo le fasce di vegetazione ripariale;
- migliorare la funzionalità idraulica dei suoli forestali;
- controllare i fenomeni di erosione superficiale, areale e lineare nella fascia montana e collinare, anche a seguito degli incendi;
- consolidare e stabilizzare i versanti
- curare interventi nel settore agricolo e forestale finalizzati alla difesa del suolo anche tramite incentivi per la pianificazione di attività agricoloforestali e pastorali collaboranti e compatibili con la difesa del suolo.

Emerge quindi un approccio alle problematiche di sistemazioni idraulica e difesa del suolo, che potremmo sintetizzare nell'espressione "**manutenzione diffusa del territorio**", intesa come gestione e sistemazione del territorio che ha alla base il principio di sfruttare la capacità degli elementi naturali di dare *metastabilità*, aumentando le caratteristiche di *resistenza* e *resilienza* alle perturbazioni esterne.

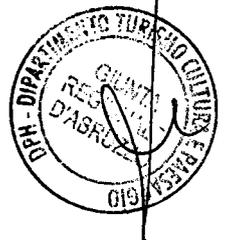
La manutenzione deve essere *diffusa* sia dal punto di vista spaziale, in quanto da riferire all'intero bacino ed a tutti i suoi elementi; sia dal punto di vista temporale, assicurando continuità e periodicità degli interventi.

Gli strumenti operativi disponibili per poter effettuare una corretta manutenzione diffusa del territorio comprendono metodi e tecniche riconducibili sia a classici approcci sistematori, sia a discipline nuove che si stanno diffondendo nella penisola italiana.

Attraverso tali strumenti è possibile pianificare e progettare interventi sostenibili di difesa del suolo.

| STRUMENTI PER UN APPROCCIO SOSTENIBILE ALLA DIFESA DEL SUOLO |
|---|
| Ingegneria naturalistica |
| Sistemazioni idraulico forestali |
| Sistemazioni idraulico agrarie e buone pratiche agricole |
| Rimboschimenti, miglioramento boschi esistenti, rinaturalizzazione aree agricole abbandonate |
| Manutenzione periodica e programmata delle opere di presidio e difesa |
| Interventi di recupero della funzionalità del reticolo idrografico principale e di quello minore |
| Manutenzione periodica e programmata della rete stradale minore |
| Misure preventive, protettive e di lotta attiva agli incendi e sistemazione delle aree incendiate |

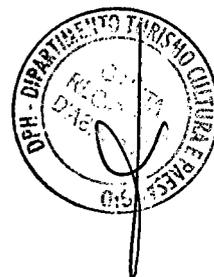
Tab. B.1.I – Strumenti per un approccio sostenibile alla difesa del suolo.



PRINCIPALI INTERVENTI DI MANUTENZIONE DIFFUSA DEL TERRITORIO

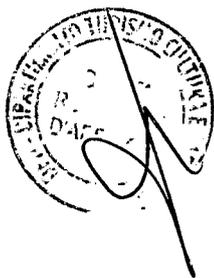


| In ambito di versante | |
|---|--|
| Interventi di tipo estensivo | Interventi di tipo intensivo |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sistemazioni idraulico-forestali estensive: rimboschimenti di specie autoctone e manutenzioni delle piantagioni già effettuate; miglioramento e rinaturalizzazione dei boschi esistenti (miglioramento altofusto e riconversione cedui, riconversione impianti di resinose con sfoltimenti ed inserimenti di latifoglie autoctone); sistemazione e rinaturalizzazione coltivi abbandonati; ripristini di prati e pascoli degradati; interventi antierosivi e stabilizzanti con l'uso di specie erbacee ed arbustive autoctone. • Interventi sulla viabilità minore: ripristino e manutenzione delle reti di scolo; rinaturazione scarpate stradali, mediante piantagione di specie arbustive autoctone e tecniche di ingegneria naturalistica. • Riduzione delle superfici impermeabilizzate nelle aree urbane e periurbane. • Sistemazioni idraulico-agrarie e buone pratiche agricole: fosse livellari, strade-fosso, fasce erbose, drenaggi superficiali, fasce arborate, sistemazione di ciglioni e terrazzamenti, creazione di fasce di rispetto al ciglio delle aree instabili ed in corrispondenza delle sede stradali, adozione di lavorazioni agricole con effetto positivo sull'assetto geo-idrologico (lavorazioni minime, cover crop, ecc.), ricostituzione di siepi campestri e rispetto degli alberi isolati ed a gruppi (boschetti). • Misure preventive, protettive e di lotta agli incendi e tempestiva sistemazione idrogeologica nelle aree percorse dal fuoco. • Monitoraggi e controlli periodici ed a seguito di eventi meteorici eccezionali: controllo dello stato delle sistemazioni idraulico-forestali, delle sistemazioni idraulico-agrarie, della viabilità minore, delle aree incendiate, delle opere di presidio idraulico e di difesa del suolo. | <p>Sistemazione di frane ed aree instabili:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ripristino e manutenzione delle opere di sostegno già esistenti e delle opere di regimazione delle acque già presenti (fossi di guardia, canali di scolo, drenaggi superficiali); • realizzazione di nuove opere di sostegno a carattere locale e di modeste dimensioni, possibilmente con tecniche di Ingegneria naturalistica; • realizzazione nuove opere di regimazione delle acque favorendo l'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica ed i drenaggi biotecnici. <p>Interventi sulla viabilità minore</p> <ul style="list-style-type: none"> • sistemazione delle scarpate stradali instabili, utilizzando, ove possibile, tecniche di ingegneria naturalistica; • ripristino e manutenzione delle opere esistenti. <p>Rimodellamento e chiusura fessure di taglio.</p> <p>Sistemazioni e manutenzioni dei versanti con rischio di frane da crollo: disgaggio massi e rimozione volumi instabili, pulizia reti paramassi, estirpazione radici pericolose per apertura giunti, regimazione acque superficiali per evitare infiltrazione con aumento della spinta e possibilità di crioclastismo.</p> |
| In ambito idraulico (interventi di rinaturazione e manutenzione di alvei, sponde e opere di difesa idraulica) | |
| Interventi di tipo estensivo | Interventi di tipo intensivo |
| <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino sezione di deflusso dell'alveo con eliminazione dei materiali terrosi e litoidi di ostacolo e dei rifiuti. • <i>Taglio selettivo</i> della vegetazione in alveo di ostacolo al regolare deflusso idrico salvaguardandone il ruolo nella difesa e conservazione delle sponde, secondo quanto previsto dal DPR 14 aprile 1993. • Ripristino sezione di deflusso in corrispondenza di ponti ed opere d'arte. | <ul style="list-style-type: none"> • Sistemazioni idraulico forestali intensive nei tratti montani e collinari dei corsi d'acqua: ripristino e manutenzione delle opere trasversali (briglie, soglie, rampe) e longitudinali (argini ed opere di protezione e consolidamento spondale) esistenti; sostituzione, ove possibile, delle opere esistenti in cemento armato con tecniche di ingegneria naturalistica; • realizzazione di nuove opere di modeste dimensioni, impiegando, ove possibile, tecniche di ingegneria |



| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Rimozione di alberi pericolanti sui versanti o impluvi. • Ripristino della funzionalità dei tratti tombati per riportarli a luce libera. • Rimozione dei depositi nelle opere idrauliche minori. • Rinaturazione delle sponde e restauro dell'ecosistema ripariale (comprende la piantagione di specie autoctone e la protezione al piede delle sponde dissestate con tecniche di ingegneria naturalistica). • Ripristino e manutenzione di interventi di rinaturazione esistenti. • Sistemazione e pulizia della rete idrografica minore (rimozione dei sedimenti nei tratti interrati, sistemazione dei tratti in erosione, con uso prevalente di tecniche di ingegneria naturalistica, ricostituzione della vegetazione igrofila ripariale). • Monitoraggi e controlli periodici ed a seguito di eventi meteorici intensi: | <p>naturalistica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correzioni, ove compatibili, dell'andamento planimetrico (eliminazione dei tratti rettificati) favorendo la meandrificazione, con conseguente positiva asimmetria della sezione idraulica. • Realizzazione di casse di espansione di piccole dimensioni nei sottobacini da sistemare secondo principi naturalistici. • Laghetti collinari artificiali: verifica delle condizioni di stabilità per evitare pericolose rotture o tracimazioni incontrollate, con aggravio delle onde di piena a valle; sistemazione e manutenzione degli sbarramenti in terra; rinaturazione di invasi abbandonati trasformandoli in aree umide con funzione di piccole casse di espansione e di riqualificazione naturalistica del territorio; Svuotamento periodico e, se necessario, a seguito di eventi meteorici intensi delle briglie selettive. Pulizia e dragaggi straordinari delle opere idrauliche maggiori (dighe, casse di espansione, diversivi, scolmatori, ecc.). |
|---|---|

Tab. B.1.II- Principali interventi di manutenzione diffusa del territorio (rielaborazione da CORNELINI – 2002 e REGIONE ABRUZZO – 2005a, 2005b).



B.2 Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo

Le piante svolgono importanti funzioni di difesa del suolo sia in ambito di versante, interagendo con la suscettività all'erosione dei terreni e con la stabilità dei pendii; sia in ambito idraulico, interagendo con la regolazione della circolazione idrica.

Sui versanti la copertura vegetale (erbacea, arbustiva ed arborea) agisce con **azioni di tipo meccanico** ed **azioni di tipo idrologico**.

Le azioni di tipo **meccanico** derivano dall'interazione fisica delle radici con il substrato e consistono nella protezione antierosiva delle acque dilavanti e nella stabilizzazione dello strato superiore di terreno, grazie al miglioramento delle sue caratteristiche geotecniche.

Le radici delle piante formano aggregati con il terreno che ne migliora i valori di resistenza al taglio e costituiscono dei "chiodi vivi" che ancorano gli strati superiori di terreno instabile a quelli inferiori stabili. Gli apparati radicali possono inoltre dare luogo a dei volumi di terreno assimilabili a pilastri di terra rinforzata, che sostengono il terreno direttamente o indirettamente, funzionando come le spalle di un ponte, che scarica il peso con un "effetto arco". La velocità di deflusso delle acque lungo un versante dotato di una densa copertura vegetale, risulta ridotta fino ad 1/4 rispetto a quella che avrebbe sullo stesso versante privo di vegetazione. L'azione erosiva, che varia con il quadrato della velocità, può quindi ridursi fino ad 1/16 (CORNELINI P., FERRARI R. - 2008).

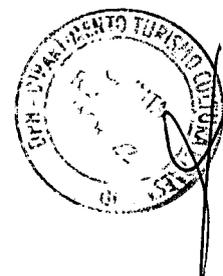
Le azioni di tipo meccanico favoriscono quindi la stabilità dei versanti e riducono l'erosione del suolo ed il conseguente trasporto solido a valle.

La presenza di specie arboree va però valutata con attenzione sui pendii instabili, in quanto gli alberi possono costituire un fattore sfavorevole alla stabilità. Il peso degli alberi rappresenta un sovraccarico, che nella sua componente parallela al pendio costituisce una forza destabilizzante. Il vento, intercettato dalle chiome degli alberi, trasmette sforzi dinamici al terreno a causa del momento flettente indotto.

Per questo le moderne tecniche di difesa del suolo raccomandano nei pendii instabili la messa a dimora di specie arbustive, che non sovraccaricano il terreno e la piantagione di alberi solo in alcuni casi, da valutare attentamente.



Foto B.2.II – Particolare (C. Crocetti)



La vegetazione esercita sui versanti anche azioni di tipo **idrologico** che possono essere così sintetizzate:

- le foglie intercettano le acque meteoriche, aumentandone la quantità assorbita ed evaporata e diminuendone quella infiltrata nel terreno;
- le radici e fusti aumentano la scabrezza e la permeabilità del suolo, rallentando la velocità di deflusso ed aumentando l'infiltrazione dell'acqua;
- le piante estraggono acqua dal terreno e la disperdono per traspirazione, abbassando il contenuto idrico del suolo.

Tali effetti si verificano soprattutto nei popolamenti forestali evoluti, i cui suoli favoriscono il deflusso a velocità ridotta delle acque di precipitazione nei macropori, il loro assorbimento ed il successivo rilascio graduale.

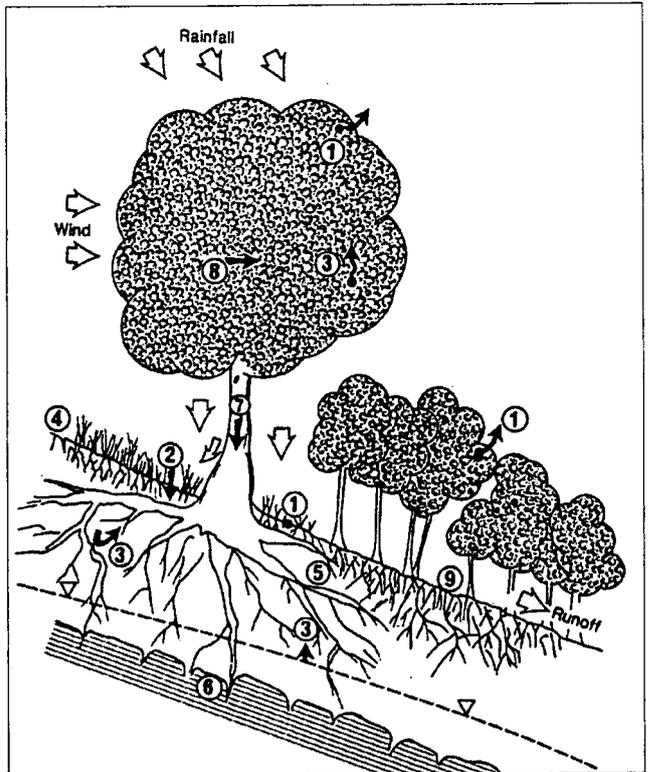
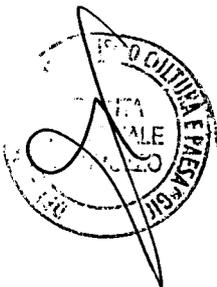


Fig. B.2.1 - Interazioni vegetazione-versante che ne influenzano la stabilità (i numeri sono collegati alla tabella successiva) (GREENWAY - 1987).

| Effetti di tipo idrologico | Contrario alla stabilità | Favorevole alla stabilità |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Le foglie intercettano le precipitazioni: causando perdite per assorbimento ed evaporazione, riducendo l'acqua disponibile per infiltrazione. | | X |
| 2. Le radici ed i fusti aumentano la scabrezza del terreno e la permeabilità del suolo, aumentando la capacità d'infiltrazione. | X | |
| 3. Le radici assorbono umidità dal suolo, che viene dispersa per traspirazione, diminuendo così la pressione interstiziale | | X |
| 4. La diminuzione dell'umidità del terreno può accentuare le fessure di disseccamento, aumentando così la capacità d'infiltrazione | X | |
| Effetti di tipo meccanico | Contrario alla stabilità | Favorevole alla stabilità |
| 5. Le radici rinforzano il suolo aumentando la resistenza al taglio | | X |



| | | |
|---|---|---|
| 6. Le radici degli alberi possono ancorarsi a strati stabili con l'effetto di pilastri di ancoraggio funzionanti come le spalle di un ponte ad arco | | X |
| 7. il peso degli alberi sovraccarica il versante, aumentando le componenti normali e tangenziali agenti sul pendio | X | X |
| 8. Le piante esposte al vento trasmettono forze dinamiche al versante | X | |
| 9. le radici legano le particelle riducendo la loro suscettibilità all'erosione | | X |

Tab. B.2.1 - Effetti della vegetazione sulla stabilità dei terreni (*illustra la figura precedente*) (GREENWAY, 1987).

Le azioni di tipo idrologico interagiscono, a scala di bacino idrografico, con la regolazione delle portate, favorendo un aumento del tempo di corrivazione e la riduzione dei picchi di piena a valle.

Riguardo a questo aspetto è bene fare delle considerazioni di carattere generale per comprendere la capacità del bosco di moderare i picchi di piena, distinguendo due casi generali: bacini idrografici di *piccola* o di *grande estensione*.

Occorre prima di tutto richiamare la nota *relazione di afflusso-deflusso*, secondo la quale possiamo suddividere l'afflusso idrometeorico³⁸ in diverse componenti. Una costituisce il *deflusso idrico superficiale*, mentre le restanti rappresentano il *disperdimento* (*infiltrazione, evaporazione e traspirazione*), che sottrae al deflusso parte dell'acqua caduta.

$$P = Q + I + E + T$$

P è l'afflusso idrometeorico
 Q è il deflusso idrico superficiale
 I è la componente che si infiltra e percola nel sottosuolo
 E è la componente che evapora
 T è la componente che traspira ad opera della vegetazione

La parte "dannosa" dell'afflusso idrometeorico è il deflusso che, scorrendo in superficie, raggiunge i compluvi e crea l'onda di piena.

Va ricordato inoltre che per le piogge così dette *notevoli*, ossia di grande *altezza*³⁹, *durata*⁴⁰, estensione di superficie investita o *intensità*⁴¹, quest'ultima non cresce proporzionalmente alle prime tre. In altre parole quanto maggiore è l'altezza, la durata o l'estensione della pioggia tanto minore è la sua intensità. L'afflusso idrometeorico, ovvero l'altezza di pioggia, non cresce quindi proporzionalmente alla durata, ma di fatto molto più lentamente.

Ipotizziamo idealmente di annullare qualsiasi dispersione per infiltrazione o evotraspirazione e che la pioggia si mantenga, in un bacino idrografico, costante nel tempo e nello spazio. La portata di piena sarà pari all'intensità di pioggia per la superficie del bacino e verrà raggiunta non appena la corrivazione è completa. L'afflusso idrometeorico eguaglierà quindi il deflusso non appena la durata di pioggia raggiungerà il tempo di corrivazione. La portata di piena dipende quindi dall'intensità di pioggia, purché questa sia di durata sufficiente a raggiungere le condizioni di regime.

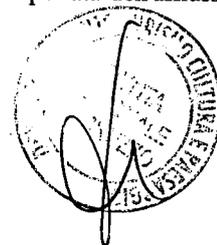
Dalle considerazioni sopra esposte si arriva alla conclusione, d'altronde ampiamente nota, che nei bacini piccoli le portate di massima piena si verificano con piogge intense, ma di

³⁸ Ovvero le precipitazioni meteoriche.

³⁹ Per *altezza di pioggia* (h) si intende lo spessore dello strato d'acqua che rimarrebbe al suolo se non vi fosse scorrimento, infiltrazione ed evotraspirazione. Conoscendo l'altezza di pioggia caduta, supposta costante per una determinata area (A), si ricava il volume d'acqua caduto, ovvero l'afflusso idrometeorico ($h \times A =$ volume dell'afflusso idrometeorico).

⁴⁰ Per *durata di pioggia* (T) si intende il tempo che intercorre tra inizio e fine della pioggia.

⁴¹ L'*intensità di pioggia* (i) esprime la quantità di pioggia caduta nell'unità di tempo, ovvero è il rapporto tra l'altezza di pioggia e la sua durata (h/T). Moltiplicando l'intensità per la superficie interessata dalla pioggia si ottiene il volume di acqua caduta che affluisce nell'unità di tempo, che ha le dimensioni di una portata ($h \times A/T =$ portata dell'afflusso idrometeorico).



breve durata e nei bacini grandi con piogge di minore intensità, ma di lunga durata. Esprimendo con più precisione il concetto possiamo dire che in entrambi i casi "le portate di massima piena si raggiungono quando la pioggia notevole che investe il bacino è quella *critica*, ossia quella che ha durata pari al tempo di corrivazione" (AA. VV., 1970). Tale valore risulta ovviamente basso per piccoli bacini e più alto per quelli grandi.

Tornando ad inserire nella relazione di afflusso-deflusso i termini di infiltrazione ed evotraspirazione, consideriamo, come avviene effettivamente nella realtà, che non tutto l'afflusso concorre alla formazione della piena, ma una parte viene trattenuta provvisoriamente o definitivamente dal suolo e dal soprassuolo, ed una parte addirittura allontanata per evotraspirazione o percolando in altri bacini idrografici.

La parte di afflusso idrometeorico disperso è molto variabile e dipende da diversi fattori: permeabilità, pendenza, grado di umidità del terreno, diffusione e stato delle sistemazioni idraulico-agrarie e della copertura vegetale, ecc. Non è quindi facile valutarla, ma sicuramente è una quota limitata, esprimibile in altezza di pioggia. In altre parole il terreno ha una capacità di trattenimento, che non lascia defluire l'acqua fino a quando questa non si è esaurita, ma che una volta arrivata al limite ne lascia defluire tanta quanto ne arriva.

La dispersione di una quota dell'afflusso idrometeorico ha quindi effetti positivi sulle portate di massima piena, fino a che l'altezza di pioggia non eguagli la sua capacità di trattenere ed allontanare le precipitazioni meteoriche, dopo di che ha un effetto nullo.

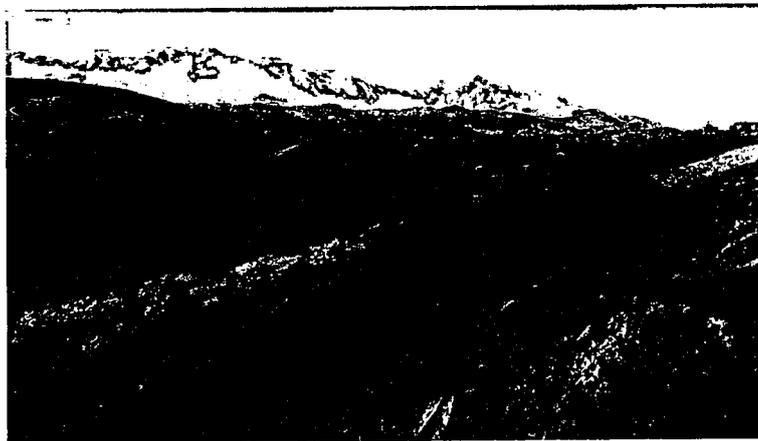
Ne consegue che l'effetto di dispersione è efficace nei bacini piccoli, ma non in quelli grandi, in quanto nei primi la pioggia critica⁴² è breve ma intensa e nei secondi ha maggiore durata e altezza, ma è meno intensa.

La dispersione ha effetti non solo sulla portata massima, ma anche sulla durata della stessa, ovvero una piena si esaurisce tanto più velocemente quanto maggiore è la capacità di dispersione da saturare. Si può affermare in generale che alla punta di massima piena è collegato il suo "effetto dirompente localizzato, che è il più temuto", ma che "le entità e le estensioni delle esondazioni", sono connesse alla sua durata (AA. VV., 1970).

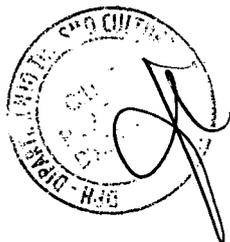
Anche in ambito idraulico le piante possono avere effetti positivi o negativi. La vegetazione protegge le sponde dalle sollecitazioni della corrente, ma determina anche una riduzione della sezione idraulica ed un aumento della scabrezza, con possibili ripercussioni negative sul deflusso idrico, soprattutto nelle sezioni medio piccole. In casi critici gli interventi con tecniche vive, sono quindi possibili solo allargando le sezioni d'alveo e ricostituendo spazi golenali, sottratti da attività agricole o industriali, urbanizzazioni ed infrastrutture.

B.3 Difesa del suolo nelle aree montane e collinari

I terreni declivi, ovvero le aree montane e collinari, costituiscono la grande maggioranza dell'intera superficie nazionale, valutabili intorno al 77% del totale (AA. VV., 1970). Si tratta di una percentuale notevole che testimonia, di per sé, l'elevato grado potenziale del dissesto geoidrologico nella penisola italiana.



⁴² Cioè quella che genera la massima piena.



A questo delicato assetto strutturale si aggiungono spesso fattori antropici di uso del suolo, tra cui la *condizione* e la *conduzione* delle attività agro-silvo-pastorali praticate. Tra queste e l'ambiente esiste una forte interdipendenza. La degradazione del suolo agricolo e forestale, a causa dei processi erosivi, è un grave problema ambientale, in particolare nell'area mediterranea, sia per quando riguarda le implicazioni sul dissesto idrogeologico, sia in termini di perdita di fertilità dei suoli.

Nelle aree montane e collinari dei bacini idrografici le dinamiche erosive e di dissesto possono

Foto B.3.1 – Paesaggio agrario nel comune di Atri. In primo piano forme erosive calanchive, sullo sfondo la catena del Gran Sasso d'Italia (C. Crocetti).

essere pronunciate. È necessario, quindi, favorire un assetto geo-idrologico dei terreni declivi agricoli e forestali finalizzato alla conservazione del suolo ed al più lungo trattenimento possibile delle acque meteoriche.

A tali scopi l'uomo ha sviluppato nei secoli interventi sul territorio che vanno sotto i nomi di *sistemazioni idraulico-agrarie* e *sistemazioni idraulico-forestali*.

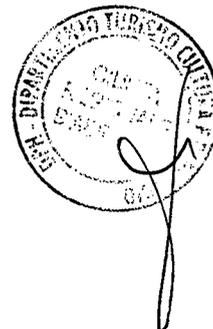
In bacini idrografici con estese aree collinari dalla spiccata vocazione agro-silvo-pastorale, come quelli in esame, tali lavori di sistemazione e presidio del territorio risultano di primaria importanza. Questi erano un tempo largamente diffusi e conservati in buona funzionalità dalla periodica manutenzione di agricoltori, pastori e montanari. Le sistemazioni idraulico-agrarie ed idraulico-forestali avevano raggiunto, nella seconda metà del secolo scorso, un notevole livello esecutivo. Le opere realizzate sono però state spesso distrutte o abbandonate nel tempo a causa della specializzazione delle colture, della meccanizzazione delle lavorazioni e dell'abbandono dei terreni nelle zone collinari e montane.

Le moderne pratiche agricole intensive, basate su pesanti ed intense lavorazioni, hanno lo scopo principale di garantire la produttività del suolo, a volte senza adeguata considerazione dei suoi processi biologici, della sua struttura, del suo bilancio idrico, ecc. L'agricoltura intensiva meccanizzata ha concorso alla distruzione e all'abbandono delle difese di regimazione delle acque e di sistemazione dei versanti, senza sostituirli prontamente con nuovi modelli adatti alle nuove tecniche agricole ed ha contribuito in maniera significativa e diretta all'erosione del suolo, soprattutto con la profondità d'aratura.

Oltre alle trasformazioni colturali sulla base di un alto grado di specializzazione e meccanizzazione, anche lo spopolamento delle aree montane e l'abbandono dei terreni agricoli ha contribuito alla degradazione delle opere di regimazione e sistemazione.

Va precisato che per *terreni abbandonati* si vogliono intendere quei terreni nei quali "l'utilizzazione agraria ordinaria è stata sospesa, sì che la loro utilizzazione, che spesso resta in qualche misura, è episodica e non inquadrata in un ordinamento aziendale permanente" (AA. VV. - 1970). Si includono quindi:

- terreni già coltivati, che vengono utilizzati con lavorazioni sommarie, solitamente a cereali o foraggere annue, spesso con forme di affitto; in questi terreni la conduzione delle attività agricole è finalizzata a massimizzare la produttività dei terreni nel breve periodo, senza badare troppo a presidi permanenti di regimazione delle acque o a pratiche agricole che limitino la lenta, ma inesorabile erosione del suolo;
- terreni già coltivati su pendii molto declivi lasciati incolti per periodi più o meno lunghi e talora utilizzati come pascoli di fortuna; la funzione di presidio dell'uomo è quindi saltuaria e limitata nel tempo;



- terreni a pascolo o prato-pascolo non più governati e utilizzati per aree pascolive di fortuna senza adeguata regolamentazione, che presentano spesso una degradazione dei cotichi erbosi.

Caratteristica comune di questi "terreni abbandonati" è che non si provvede a realizzare opere di regimazione delle acque e di sistemazione dei versanti. La conservazione di questi suoli dipende essenzialmente dalla copertura vegetale naturale che riesce a colonizzare tali aree, se e come le si consente di formarsi.

In questo senso la ricolonizzazione di appezzamenti di terreno ad opera di specie erbacee, arbustive ed arboree autoctone, tali da ricostituire aree stabili spontaneamente rinaturalizzate, non costituiscono solitamente un elemento di squilibrio e dissesto, ma anzi sono da considerare aree di controllo idrogeologico, proprio in virtù della loro copertura vegetale.

Le sistemazioni idraulico-agrarie ed idraulico forestali, sono quindi interventi di fondamentale importanza per ridurre fenomeni di erosione e tempi di corrivazione e per conservare la produttività dei suoli agricoli e forestali. Tali interventi sono stati attuati con diversi schemi applicativi nel territorio italiano. Metodi differenti sono stati sviluppati nel tempo a seconda delle diverse caratteristiche morfologiche, geopedologiche, climatiche, nonché dall'intensità colturale e delle esigenze socio-economiche. Queste ultime hanno ad esempio portato nel passato all'utilizzo di terreni di notevole acclività, ma necessari alla povera economia di aree depresse montane e collinari.

La regimazione superficiale delle acque piovane, tramite un'adeguata rete scolante, è importantissima per un buon governo idraulico del territorio.

Anche la presenza di un'idonea copertura vegetale risulta fondamentale. Il cotico erboso svolge un'importante azione di difesa dalle acque dilavanti ed impedisce la perdita di suolo fertile. Il bosco svolge importanti funzioni di moderazione delle piene, in particolare nei bacini di modesta estensione⁴³. Si devono quindi prevedere interventi di miglioramento dei boschi degradati, di rinaturalizzazione di boschi di conifere con specie arboree autoctone e, ove possibile, di rimboschimenti. Vanno inoltre effettuati interventi diffusi di controllo dell'erosione, del deflusso idrico superficiale ed interventi di consolidamento dei versanti utilizzando, il più possibile, tecniche di ingegneria naturalistica, che prevedono l'uso di specie arbustive ed erbacee autoctone.

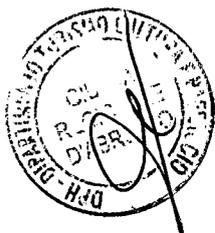
Fondamentale risulta anche la ricostituzione di zone umide ed il mantenimento di una buona funzionalità dell'intero reticolo idrografico: dalle aste principali, alle vie di drenaggio minori, fino alla rete artificiale di scolo di strade, coltivi ed urbanizzazioni.

Grazie a queste tipologie di interventi si ottiene un aumento dei tempi di corrivazione, una diminuzione della portata di piena e del trasporto solido; ciò comporta in genere una riduzione della necessità e delle dimensioni degli interventi di protezione a valle.

Grazie all'utilizzo di specie vegetali autoctone si può inoltre ottenere un miglioramento della qualità ambientale e paesaggistica del territorio ed un aumento della sua biodiversità.

È bene infine porre l'accento su una questione fondamentale nel tema della prevenzione e sistemazione dei terreni declivi destinati ad un uso agro-silvo-pastorale, che risiede nella loro stessa natura di superfici in pendenza. È fondamentale regolamentare una destinazione d'uso ed un approccio sistematorio diversificato a seconda delle acclività medie dei versanti, prevedendo anche vincoli sulle pendenze utilizzabili e/o la costituzione di fasce di rispetto rinaturalizzate. Una corretta gestione e pianificazione del territorio rappresenta quindi un

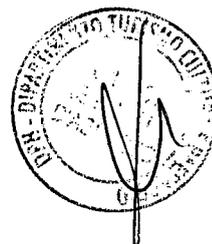
⁴³ Cfr. par. B.2 "Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo".



presupposto prioritario nel tema della difesa del suolo delle aree montane e collinari, come lo è per le zone di pianura dei bacini idrografici.

Nella tabella seguente si propone un inquadramento generale delle classi di pendenza media dei terreni declivi, ai fini di una classificazione delle diverse destinazioni d'uso, delle lavorazioni compatibili e delle necessità sistematorie. Le pendenze e le indicazioni contenute nella tabella sono da considerarsi indicative e da verificare caso per caso, ma tracciano un inquadramento generale dell'approccio alla difesa del suolo nei terreni declivi adibiti ad attività agro-silvo-pastorale.

| CLASSE DI ACCLIVITA' | DESTINAZIONE D'USO ED APPROCCIO SISTEMATORIO |
|----------------------|---|
| 0-5% | Terreni pianeggianti particolarmente adatti alle coltivazioni che prevedono lavorazioni annuali del terreno. Solitamente non richiedono particolari interventi sistematori, se non semplici reti di smaltimento delle acque meteoriche in eccesso. |
| 5-10% | Terreni poco acclivi adatti alle coltivazioni che prevedono lavorazioni annuali del terreno. Solitamente richiedono adeguate tecniche di lavorazione del terreno, semplici interventi sistematori ed idonee reti di smaltimento delle acque meteoriche in eccesso. |
| 10-25% | Terreni generalmente compatibili con attività agro-silvo-pastorali, ma che necessitano di solito di adeguate tecniche di lavorazione del terreno e di idonee sistemazioni idraulico-agrarie finalizzate ad una conduzione sostenibile delle attività produttive, soprattutto in caso di lavorazioni annuali del terreno. Le colture che prevedono lavorazioni annuali dovrebbero essere di preferenza realizzate nei terreni appartenenti alle prime tre classi di acclività. |
| 25-40% | Terreni in cui le destinazioni d'uso agro-silvo-pastorali possono essere compatibili con le pendenze presenti solo effettuando adeguate sistemazioni idraulico-agrarie (<i>solchi acquai, strade fosso per il passaggio delle macchine agricole, collettori di drenaggio, drenaggi sotterranei, fasce inerbite, terrazzamenti, ciglioni, ecc</i>). Tali sistemazioni possono essere anche realizzate direttamente dall'azienda agro-silvo-pastorale, in base alle direttive di linee guida tracciate dagli enti locali competenti, ma senza necessità di specifici progetti redatti da tecnici abilitati. Nei terreni appartenenti a tale classe andrebbe effettuata una scelta appropriata delle colture da impiantare, preferendo quelle che prevedono un'adeguata copertura vegetale, che creino terreni saldi e proteggano il suolo, soprattutto nella stagione avversa (ad esempio colture erbacee foraggere di lunga durata, quali prati stabili e prati-pascolo) ed evitando le colture che prevedono lavorazioni annuali del terreno. Su tali terreni bisognerebbe in generale limitare la frequenza e la profondità delle arature, soprattutto nei suoli con scadenti caratteristiche geotecniche quali quelli argillosi. |
| 40-60% | Terreni in cui le attività agro-silvo-pastorali possono essere realizzate solo se subordinate a lavorazioni e sistemazioni restrittive intese a regimare la circolazione idrica ed a ridurre l'erosione del suolo. Tali sistemazioni dovranno essere adeguatamente progettate da tecnici abilitati sulla base di appropriate analisi delle condizioni geopedologiche, morfologiche ed idrologiche del versante e della tipologia di colture. |
| oltre il 60% | Terreni da escludere da attività colturali che richiedano lavorazioni agricole annuali |



| |
|--|
| del suolo. In tali aree sono possibili solo attività silvo-pastorali che prevedono la costituzione di adeguate coperture vegetali erbacee e/o arbustive ed anche arboree (se le condizioni pedologiche e di stabilità dei pendii lo permettono) o la destinazione d'uso ad aree naturali o rinaturalizzate di controllo idrogeologico. Qualora si renda necessario per la salvaguardia di colture o ambiti naturali di pregio o per esigenze di messa in sicurezza del territorio e di riequilibrio dell'assetto idrogeologico del territorio, in tali aree possono essere realizzati interventi di consolidamento e stabilizzazione, preferibilmente mediante tecniche di ingegneria naturalistica. |
|--|

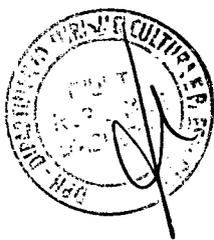
Tab. B.3.1 - Classi di acclività dei terreni declivi e relativa destinazione d'uso ed approccio sistematorio.

B.3.1 Sistemazioni idraulico-agrarie

Le sistemazioni idraulico-agrarie hanno essenzialmente tre scopi connessi sia alla difesa idrogeologica del territorio, sia al mantenimento della produttività dei suoli:

- *regimare adeguatamente la circolazione idrica;*
- *ridurre l'erosione del suolo;*
- *mantenere la fertilità dei suoli.*

L'acqua rappresenta il principale agente erosivo: per l'azione battente diretta sul terreno; per l'azione diretta di trascinamento delle acque di scorrimento superficiali che tendono ad asportare le particelle di terreno; per le ripercussioni indirette sulla stabilità dei versanti, che vedono generalmente peggiorare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti ed aumentare le pressioni interstiziali destabilizzanti. Un'adeguata regimazione delle acque favorisce inoltre un aumento dei tempi di corrivazione dei bacini idrografici, contribuendo a regolamentare le piene a valle. Ai fini della produttività dei terreni la rete scolante evita, a seconda delle condizioni termo-pluviometriche e di permeabilità del suolo, nocivi ristagni idrici o, al contrario, favorisce all'accumulo di acqua ove necessario. La regimazione idrica dei coltivi rientra nella buona pratica agricola ed è imposta da leggi ed articoli del codice civile.



I maggiori rischi di erosione si hanno nei *seminativi nudi*⁴⁴, che risultano diffusi nel Bacino Regionale del Piomba. I pericoli sono connessi all'estensione, solitamente notevole, di aree periodicamente e continuamente lavorate e quindi soggette all'instabilità causata dalla rapida circolazione idrica superficiale. Tali dinamiche ovviamente si accentuano all'aumentare della pendenza dei versanti, tanto

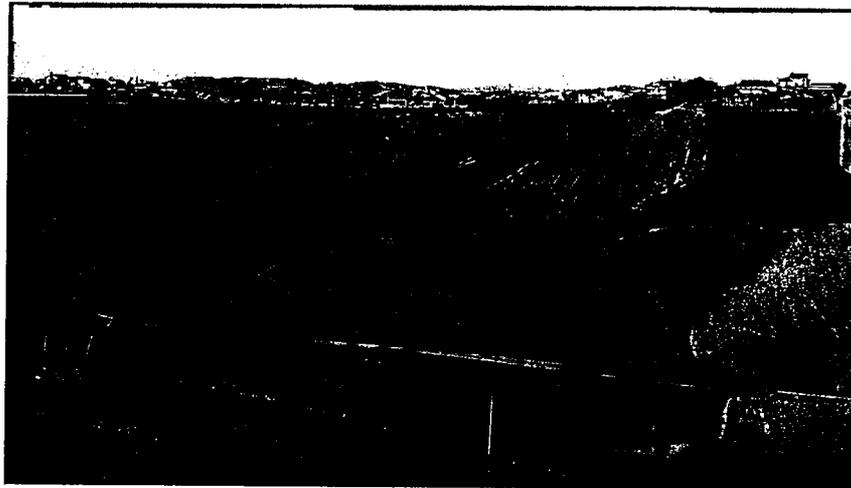


Foto B.3.1.I - Seminativi nudi nei pressi di Casoli di Atri (C. Crocetti).

che per acclività elevate le uniche tecniche sistematorie utilizzabili sono i **terrazzamenti** ed i **ciglioni**. Si tratta di correzioni del rilievo così dette di *traverso*, ossia realizzate con andamento trasversale alle linee di massima pendenza, che contribuiscono a diminuire l'acclività dei versanti e costituiscono un ostacolo al deflusso superficiale delle acque. Tale tipologia di sistemazioni idraulico-agrarie può essere realizzata solo in terreni dotati di buona permeabilità. Presentano una certa difficoltà ed onerosità di esecuzione (in particolare i terrazzamenti con muri a secco) e prevedono un'assidua vigilanza e manutenzione per assicurarne la funzionalità. Si tratta quindi di sistemazioni piuttosto onerose che sopravvivono in Italia solo dove risultano legate a particolari colture di pregio ed a volte anche dove conservano un certo valore storico-paesaggistico.

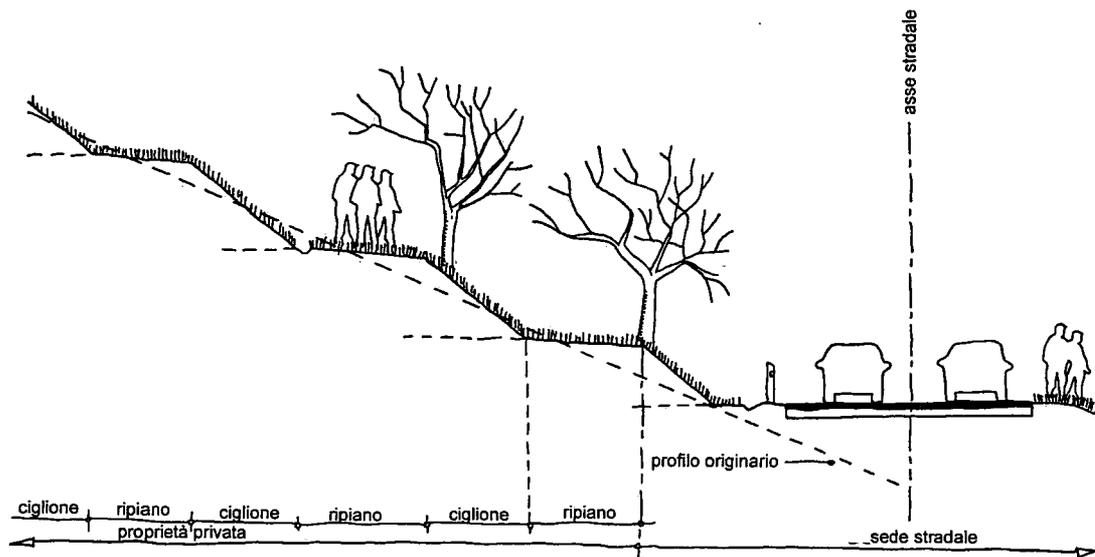
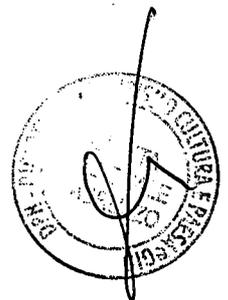


Fig. B.3.1.I - Sistemazione a *ciglioni*. (AA. VV. - 2008).

⁴⁴ Cioè senza copertura arborea.



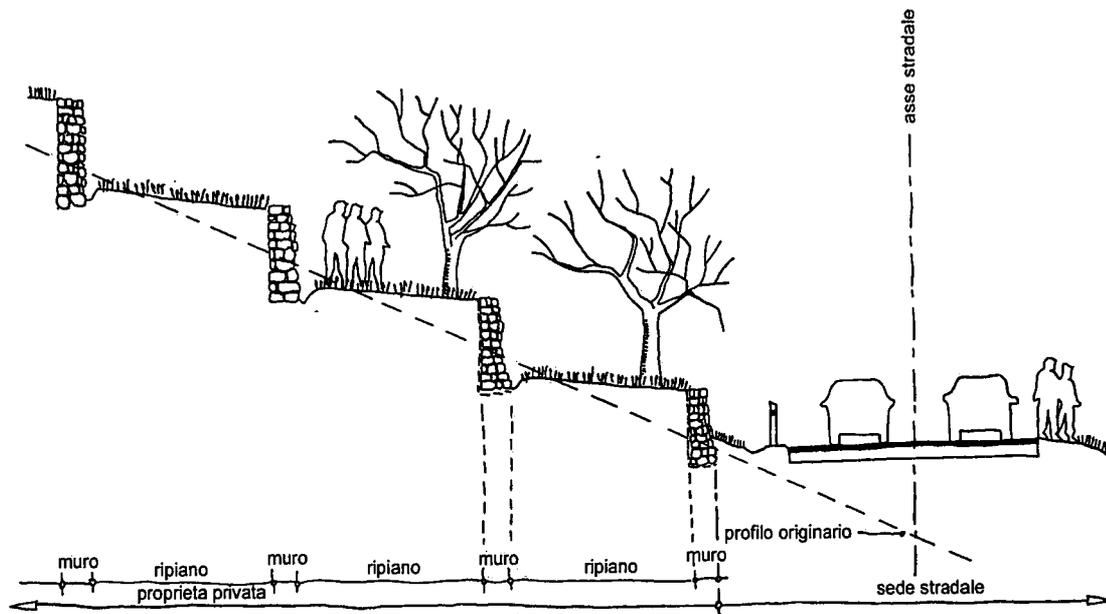


Fig. B.3.1.II -Sistemazione con *terrazzamenti* di muro a secco. (AA. VV. - 2008).

Le lavorazioni del terreno possono essere effettuate essenzialmente lungo due direzioni:

- parallelamente alle curve di livello - *lavorazioni a girapoggio*
- parallelamente alle linee di massima pendenza - *lavorazioni a rittochino*

Nelle *lavorazioni a girapoggio* (*countouring*) si favorisce la ritenuta dell'acqua e la sua infiltrazione, diminuendo lo scorrimento superficiale e quindi l'erosione del suolo. L'efficacia di controllo idrogeologico varia secondo l'acclività e la lunghezza del versante: con pendenze inferiori al 4% (GIORDANI, ZANCHI - 1995), su terreni permeabili e in regimi pluviometrici non troppo intensi, è sufficiente a controllare l'erosione; con pendenze maggiori ed in condizioni pedoclimatiche più sfavorevoli, risultano di solito insufficienti. Nelle zone aride questo tipo di lavorazione favorisce la conservazione dell'acqua.

Nelle *lavorazioni a rittochino* i suoli vengono lavorati parallelamente alle linee di massima pendenza, completando di solito la sistemazione a valle con fossi trasversali di raccolta delle acque in eccesso, che le convogliano verso un collettore di scarico. Risultano particolarmente efficaci in terreni di acclività non eccessiva e dotati di una certa coerenza ed impermeabilità, come quelli argillosi. Tali lavorazioni sono infatti diffuse nella fascia delle colline argillose periadriatiche abruzzesi-marchigiane, favorite nel tempo anche dalla facilità di realizzazione con mezzi meccanici, che permettono di eseguire arature profonde.

Le lavorazioni a rittochino sono quelle che favoriscono maggiormente l'erosione del suolo essendo disposte in maniera che l'acqua acquisti rapidamente velocità nei solchi asportando particelle di terreno.

| Lung. versante (m) | Lavorazione | Scorrimento Superficiale (cm) | Perdita di suolo (ton/ha) |
|-----------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------|
|-----------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------|



| | | | |
|-----|------------|------|-------|
| 192 | Rittochino | 5,48 | 77,64 |
| 96 | Rittochino | 6,73 | 59,6 |
| 48 | Rittochino | 9,01 | 42,83 |
| 48 | Girapoggio | 0,13 | 0 |

Tab B.3.1.I - Scorrimento superficiale ed erosione su un suolo coltivato a mais nello Iowa (U.S.A.) in funzione della lunghezza del versante e del tipo di lavorazione. Valori medi nel periodo 1933-1935, su suolo permeabile con pendenza media dell'8% (GIORDANI, ZANCHI - 1995).

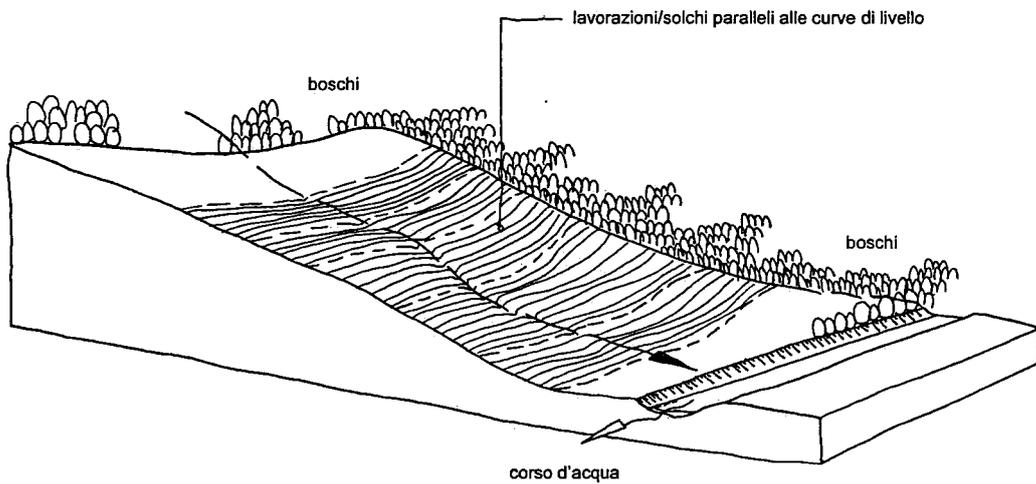


Fig. B.3.1.III -Lavorazione del terreno a *girapoggio*. (AA. VV. - 2008).

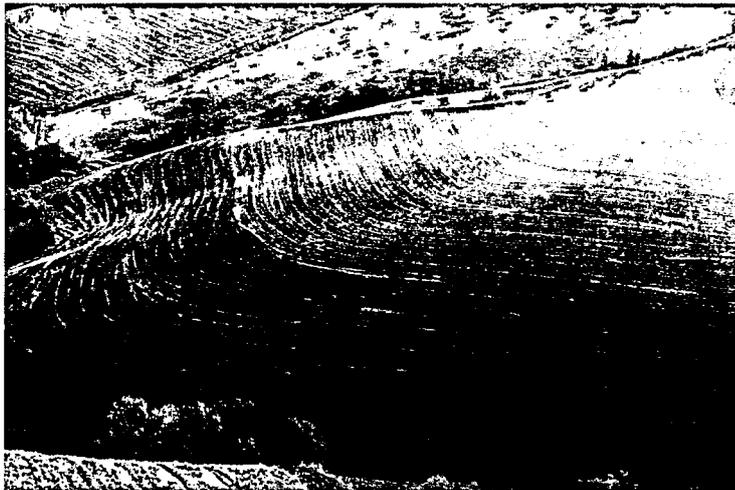
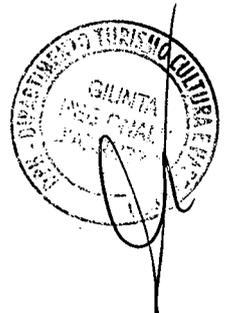


Fig. B.3.1.III - Lavorazione del terreno a *girapoggio* (C. Crocetti).



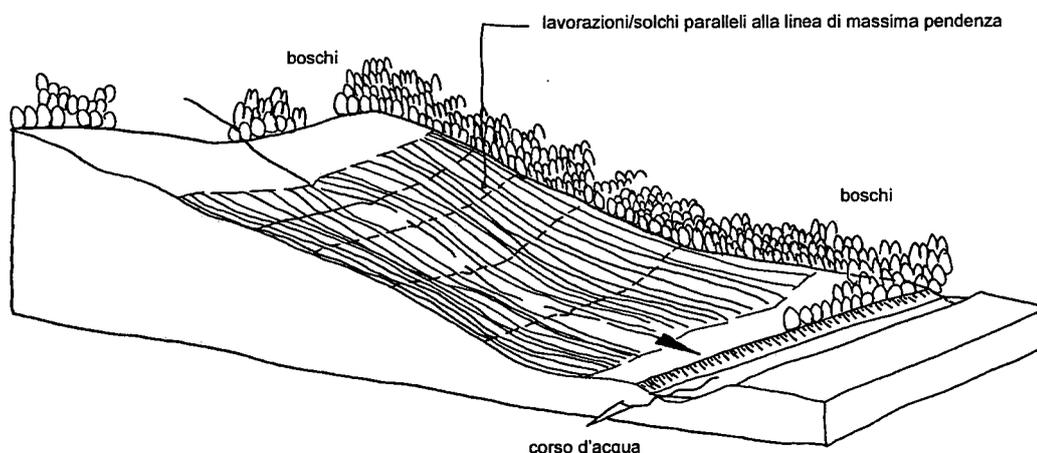


Foto. B.3.1.I - Seminativi nudi lavorati a *rittochino* (AA. VV -2008)).



Foto. B.3.1.II - Seminativi nudi lavorati a *rittochino* (C. Crocetti).

La necessità di effettuare arature profonde, soprattutto a *rittochino*, nei terreni forti di tipo argilloso da destinare a seminativi, rese possibili dall'impiego di mezzi meccanici, ha creato una maggiore capacità di invaso delle superfici coltivate ed una circolazione idrica sul fondo di lavorazione, piuttosto che in superficie. Questo ha reso inutili i sistemi di regolazione delle acque basati su solchi acquai temporanei poco profondi, utilizzati per difendere i seminativi nudi dagli eccessi delle stagioni piovose. La mancanza di un sistema sostitutivo di regimazione delle acque, idoneo alle caratteristiche degli appezzamenti, determina però un disordine idraulico che si ripercuote sull'assetto idrogeologico dell'intero territorio.

Classici modelli sistematori ritenuti adatti nei terreni argillosi sopra descritti, sono quelli sviluppati tradizionalmente soprattutto nella regione Toscana, che si basano sulla realizzazione di solchi acquai permanenti, realizzati secondo le curve di livello (***fosse livellari***).

Lo schema sistematorio prevede la realizzazione degli elementi della rete scolante descritti nella tabella e nella figura seguenti.

| ELEMENTI RETE DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE | DESCRIZIONE |
|---|-------------|
|---|-------------|



| | |
|---|--|
| <i>Fosse livellari</i> | Solchi acquai permanenti di intercettazione delle acque a monte. Sono realizzati dimensionando lunghezza, sezione e pendenza in funzione delle caratteristiche specifiche delle superfici coltivate, in modo da garantire il deflusso regolare delle acque intercettate fino al collettore di scarico. La distanza di interasse tra due fosse successive dipende essenzialmente dall'acclività dei pendii: generalmente sono considerate idonee distanze di max 120 m per pendenze medie non superiori al 25% e di max 80 m per pendenze non superiori al 40%. Con le lavorazioni a ritochino, le fosse livellari possono essere intaccate e riempite, bisogna quindi prevedere una loro manutenzione e pulizia. |
| <i>Scoline</i> | Solchi acquai temporanei da realizzare, se necessario, per contribuire a drenare l'acqua verso le fosse livellari. Eliminati con l'aratura, sono tracciati nuovamente a fine lavorazioni. |
| <i>Collettori di scarico naturali/artificiali</i> | Vi confluiscono le acque provenienti dalle fosse livellari, che vengono poi scaricate nei fossi principali e nei corsi d'acqua. Sono costituiti da impluvi naturali vegetati o canali artificiali a ritochino, eventualmente da sistemare, di preferenza con tecniche di ingegneria naturalistica, per difenderli dall'erosione e rinaturalizzarli. |
| <i>Strade-fosso</i> | Possono essere necessari per interrompere pendii troppo lunghi. Sono realizzati ad andamento livellare ed in contropendenza, in modo da ricevere le acque dell'appezzamento soprastante, sostituendo a tutti gli effetti la corrispondente fossa livellare. Sono da realizzare ad una distanza di almeno 300-400 m, su versanti con pendenza fino al 25%. L'eccessiva lunghezza di strade fossi può essere ridotta invertendo i sensi delle pendenza, in modo da convogliare le acque nei collettori di scarico esistenti. I versanti di controripa e di sottoscarpa delle strade possono essere eventualmente sistemati con tecniche di ingegneria naturalistica. |
| <i>Drenaggi sotterranei</i> | La regolazione della circolazione idrica può comprendere, in taluni casi, anche drenaggi delle acque sotterranee. In campo agrario la finalità di queste sistemazioni è quella di allontanare le acque sotterranee in eccesso, in modo da evitare ristagni idrici, che possano arrecare danni alle coltivazioni. |

Tab B.3.1.II - Principali elementi di una rete di regolazione della circolazione idrica nelle superfici coltivate.

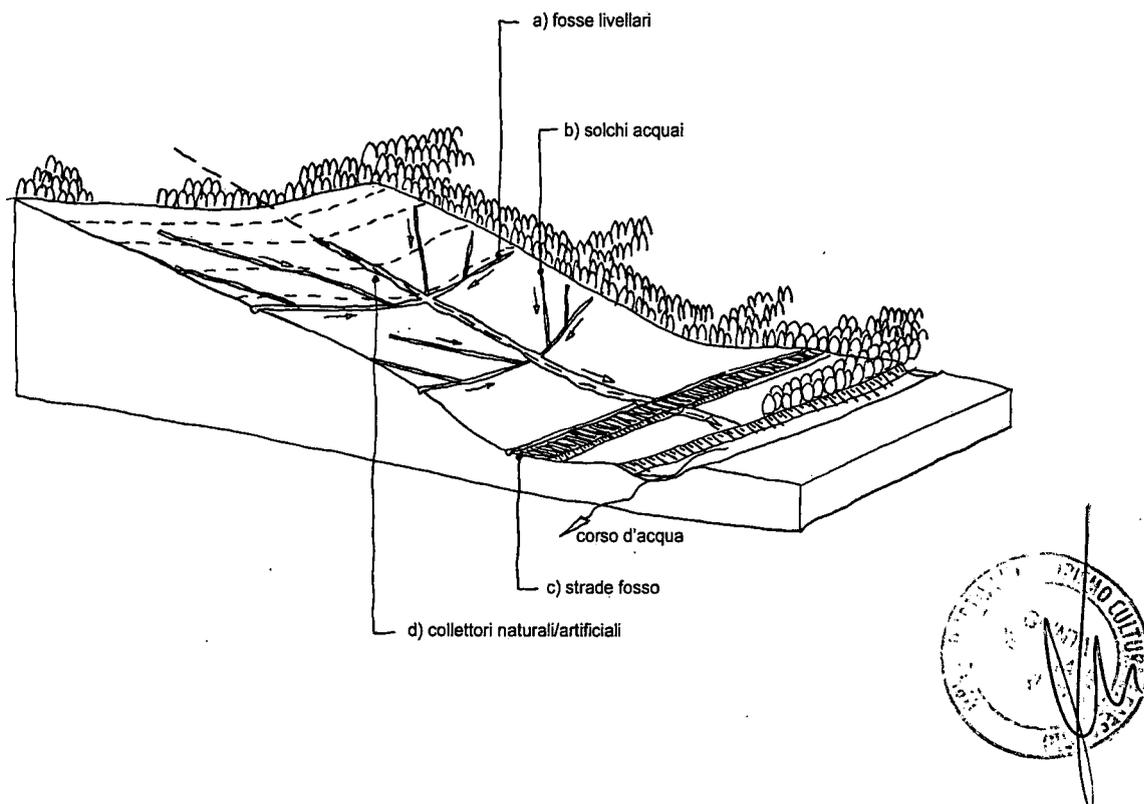


Fig. B.3.1.IV - Elementi della rete scolante superficiale (AA. VV. - 2008).

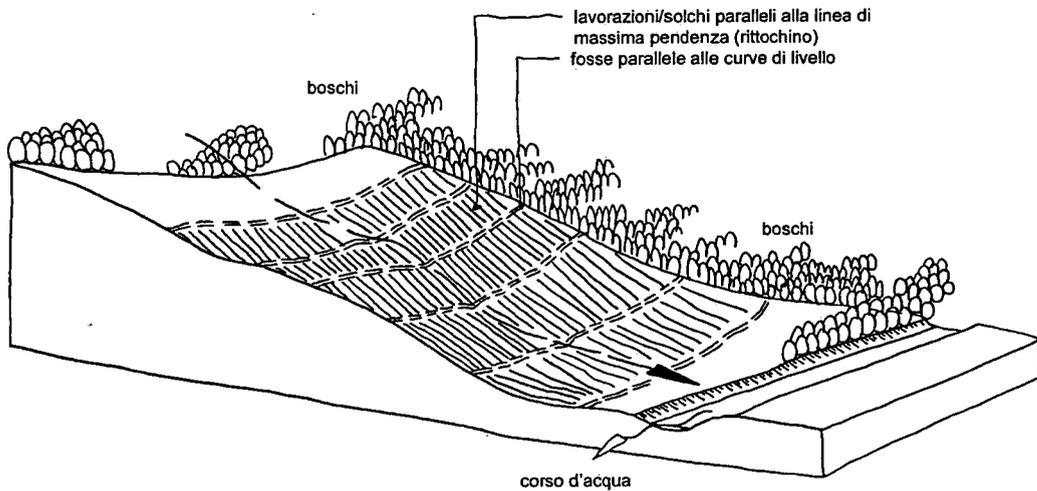
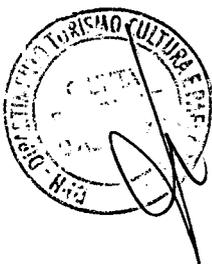


Fig. B.3.1.V - Sistemazione con fosse livellari (AA. VV. - 2008).

Il dimensionamento di un'adeguata rete di smaltimento nei coltivi, viene normalmente realizzata in modo empirico, ma funzionale, valutando i parametri della tabella seguente.

| PARAMETRO | FONTE DEI DATI |
|---|--|
| Caratteristiche della superficie agricola aziendale, esistenza di compluvi naturali, piccoli bacini, ecc. | Carte catastali, foto aeree, sopralluoghi, documentazione fotografica, ecc. |
| Pendenza media dei vari appezzamenti di terreno. | Cartografia con curve di livello. |
| Tipi di colture praticate e rotazioni da attuare. | Programmi aziendali di coltivazione. |
| Caratteristiche pedologiche dei terreni | Analisi della tessitura e quant'altro utile, in aggiunta a quelle chimiche necessarie alla formulazione del piano di concimazione. |
| Tipo di attrezzo utilizzato per la realizzazione dei solchi acquai (utile per valutare l'area di sezione del solco) e la loro profondità media. | Dotazioni aziendali. |
| Grado di pendenza da dare alle scoline | Caratteristiche della superficie ed esperienza del coltivatore |



Tab B.3.1.III - Parametri per il dimensionamento della rete scolante e relative possibili fonti di reperibilità dei dati (rielaborazione da AA. VV., 2008).

Lo schema per fosse livellari risulta utile anche in caso di pendii non soggetti a lavorazione, ossia nel caso di colture foraggere permanenti. In questi casi è meglio realizzare solchi acquai livellari ampi e poco profondi, in modo da realizzare canalette inerbite che resistano al calpestio degli animali. I prati, i pascoli ed i prati-pascolo offrono generalmente una buona copertura antierosiva⁴⁵, la cui efficacia dipende dal loro stato vegetativo e da come vengono utilizzati.

Uno sfruttamento equilibrato della loro biomassa va definito attraverso il *dimensionamento del carico animale*⁴⁶, per evitare fenomeni di sovrapascolamento. Una diffusione delle superfici prative e pascolive attenta alle caratteristiche del terreno, in modo da rispettarne i ritmi di degradazione e rigenerazione del cotico erboso, può essere considerata una tecnica agropastorale conservativa del suolo (PAGLIAI et alii, 1997).



Foto B.3.1.III - Estese e pronunciate forme erosive superficiali nella Riserva dei Calanchi di Atri causate dall'eccessiva pressione del pascolo che ha causato la distruzione della copertura vegetale erbacea e la mancata colonizzazione delle specie arbustive (C. Crocetti).

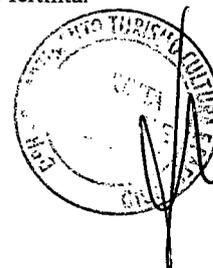
In caso di discrete pendenze e dove vi siano dei rischi per la stabilità dei mezzi meccanici necessari a realizzare i solchi acquai, è comunque necessario realizzare, soprattutto sui seminativi nudi, interventi sostitutivi, quali fasce inerbite ad andamento livellare. È questa la tecnica così detta delle **colture a strisce**, che consiste nel coltivare strisce di colture protettive (solitamente graminacee e/o leguminose densamente seminate) alternate a strisce produttive (ad esempio cereali). Le strisce vanno orientate trasversalmente alla massima pendenza. L'erosione si riduce perché le fasce inerbite ostacolano il rapido movimento delle acque verso valle. Il trasporto solido si riduce perché il terreno eroso nelle fasce coltivate poco protette viene trattenuto da quelle erbose sottostanti.

La coltura a strisce non è necessaria per terreni pianeggianti (con pendenza inferiore al 5%), impostati su terreni non particolarmente erodibili. Si rivela molto utile per pendenze tra il 10 e 20%, secondo le caratteristiche di erodibilità del terreno e di aggressività del clima⁴⁷. Su pendenze maggiori perde di efficacia. La larghezza delle strisce è compresa tra i 5 e 45 m, in funzione della pendenza dei versanti, della permeabilità e dell'erodibilità dei terreni, della forza erosiva delle piogge e del tipo di colture praticate. La distanza di interasse tra due fasce inerbite è generalmente di massimo 60 m. Su pendii particolarmente ripidi si possono

⁴⁵ Riducono (fino ad annullare) l'azione battente delle piogge, aumentano la capacità di ritenzione idrica del terreno, rallentano la velocità delle acque di scorrimento, trattengono particelle di suolo, migliorandone struttura e fertilità.

⁴⁶ *Carrying Capacity*: densità superficiale di animali al pascolo.

⁴⁷ GIORDANI C., ZANCHI C. - 1995.



alternare fasce di vegetazione arbustiva densa e permanente (*buffer strips*), di 2-4 m larghezza e distanti 10-20 m .

Strisce erbose con funzione di controllo idrogeologico possono anche essere disposte parallelamente alle linee di massima pendenza tra gli interfilari di colture legnose specializzate, come il vitigno, oppure al confine tra due campi coltivati. Si otterrebbe così un notevole beneficio dell'assetto geo-idrologico dei terreni.

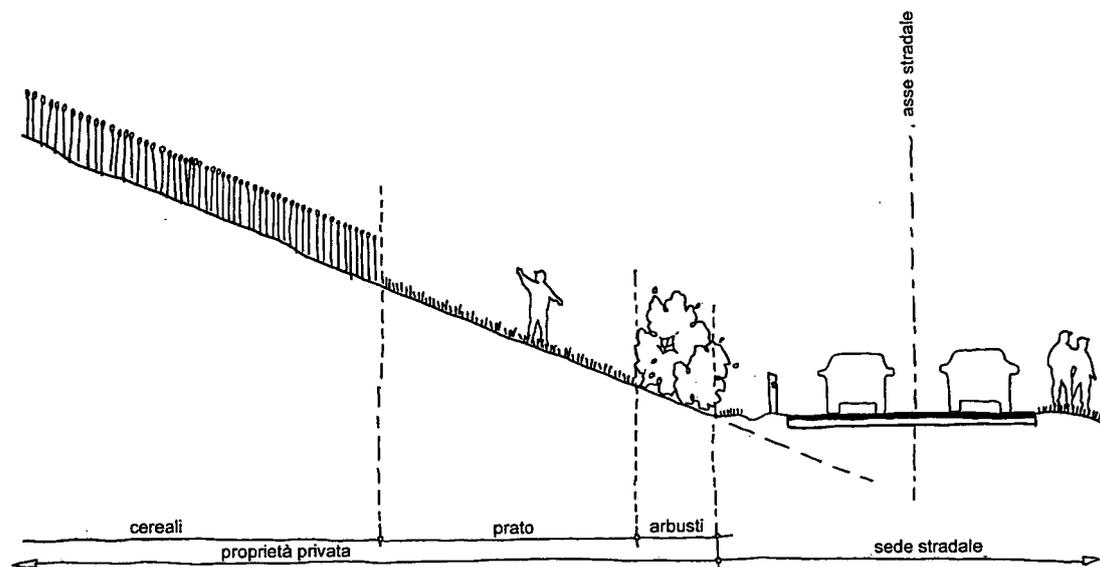


Fig. B.3.1.V - Sistemazione tramite *colture a strisce* con fasce inerbite trasversali (AA. VV. - 2008).

Come già specificato in precedenza la copertura vegetale rappresenta un importante elemento di difesa del suolo.





Foto B.3.1.IV - Fioritura di una siepe campestre di *Prunus spinosa* su una scarpata stradale della Riserva dei Calanchi di Atri (C. Crocetti).

In questo senso meritano un accenno le **siepi campestri** interpoderali e sulle scarpate stradali. Questo classico elemento del paesaggio agrario è stato spesso eliminato, soprattutto per facilitare il movimento ed il passaggio di mezzi meccanici. Le siepi campestri contribuiscono all'equilibrio idrogeologico dei paesaggi agrari e rappresentano un elemento che migliora l'assetto naturalistico del territorio, anche per la loro funzione di riconnessione

ecologica del paesaggio.

Una pratica agricola diffusa nei seminativi, che può avere ripercussioni sulla difesa del suolo, è quella della *rotazione*. Le diverse tipologie di colture non hanno tutte lo stesso impatto sull'erosibilità dei terreni. Le colture seminate a righe larghe (mais, sorgo, cotone, barbabietola da zucchero, ecc.) hanno bisogno di lavorazioni profonde, di un buon letto di semina ed impiegano molto tempo per coprire sufficientemente il terreno. Le colture seminate ad interfile ridotte (come il frumento) garantiscono maggiore protezione, anche se possono ugualmente essere sede di marcati fenomeni erosivi.

In questo caso il suolo aumenta la sua suscettibilità all'erosione a causa dell'amminutamento⁴⁸ a seguito della preparazione del letto di semina, e per l'insufficiente protezione che offrono queste colture dallo sviluppo ridotto. In termini di protezione idrogeologica è quindi consigliabile evitare le monoculture ed alternare colture poco protettive ad altre più protettive. Tra queste vanno annoverate sicuramente le *leguminose*, come la sulla, che oltre ad assicurare un'efficace e veloce copertura, migliorano il chimismo del terreno (*azotofissatrici*).

Nelle aree collinare che offrono condizioni adatte all'impianto di colture arboree possiamo trovare anche *seminativi arborati*⁴⁹, che risultano la tipologia culturale maggiormente presente nel Bacino Regionale del Piomba, grazie alla diffusa coltivazione di vite ed ulivo.

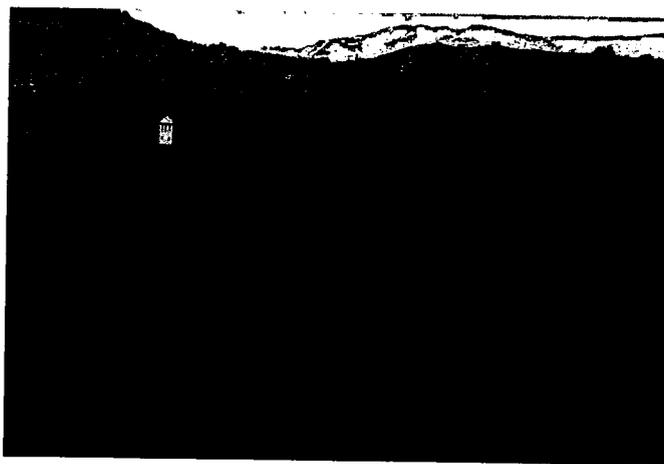
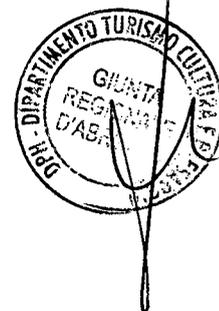


Foto B.3.1.V - Seminativi arborati dotati di adeguata copertura erbacea - Atri (C. Crocetti).

⁴⁸ Le particelle di terreno a seguito delle lavorazioni meccaniche di preparazione diventano più piccole.

⁴⁹ Coltura promiscua in cui vengono coltivate specie legnose agrarie ed erbacee.



Tale coltura promiscua garantisce discreta protezione all'erosione, se le colture erbacee forniscono una adeguata copertura vegetale per la maggior parte dell'anno (in particolare nelle stagioni piovose).

La specializzazione dell'agricoltura tende di solito a dividere gli impianti arborei dai seminativi nudi. Separando le colture erbacee da quelle arboree specializzate, bisognerebbe disporre **fasce arborate** lungo le curve di livello oppure lungo le linee di massima pendenza o a scacchiera. La fascia arborata ha lo scopo di interrompere seminativi nudi troppo ampi, formando con questi delle unità sistematorie interconnesse.

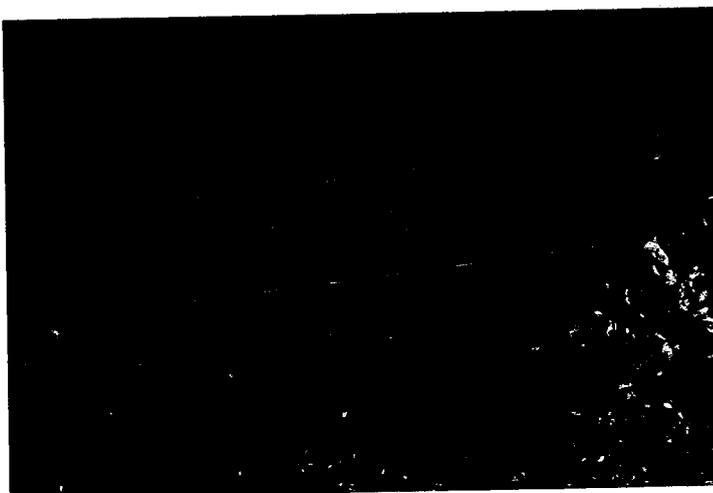


Foto B.3.1.VI - Fenomeni erosivi su seminativi arborati privi di copertura erbacea - Atri (C. Crocetti).

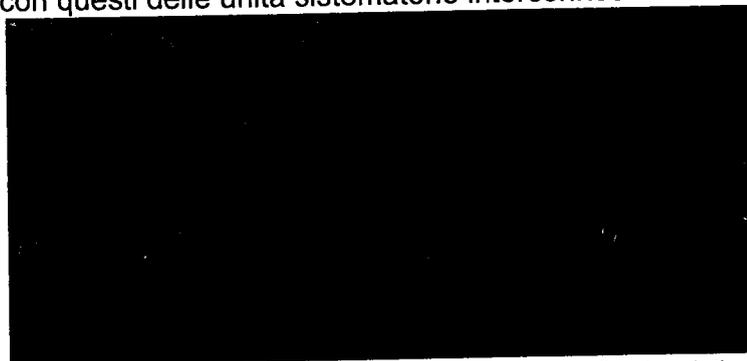


Foto B.3.1.VII - Fenomeni erosivi su seminativi nudi ostacolati a valle dalla fascia arborata con copertura erbacea - Atri (C. Crocetti).

La fascia arborata disposta trasversalmente alle massime pendenze risulta ovviamente quella che fornisce le migliori garanzie di protezione idrogeologica.

Un accenno meritano moderne tecniche agricole che si distinguono per un approccio teso ad ottenere produttività dei terreni, contenendone però la degradazione, con lo scopo di "assicurare un'adeguata copertura e mantenere le caratteristiche fisico-chimiche del suolo" (GIORDANI C., ZANCHI C. - 1995). Tali tecniche

sono indicate con l'espressione **agricoltura conservativa**⁵⁰ e si stanno diffondendo anche per il risparmio che si ottiene nel consumo di combustibile, prevedendo un uso meno intenso dei mezzi meccanici. Nell'area di studio non risultano ancora diffuse, anche a causa di condizioni ambientali non sempre favorevoli. È fondamentale infatti verificare preliminarmente l'idoneità dei coltivi all'applicazione dei metodi di agricoltura conservativa, che si basa sui seguenti principi (PISANTE M. - 1995):

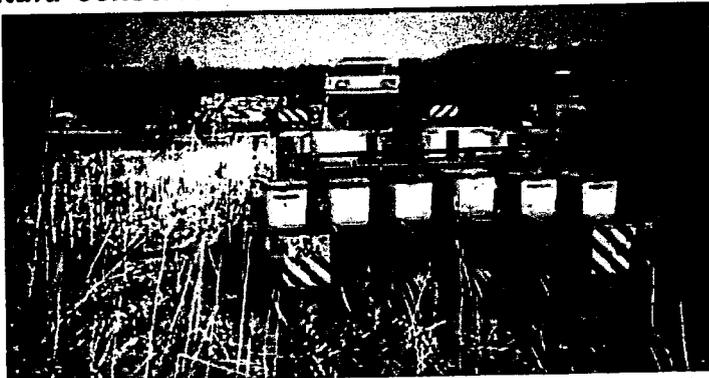


Foto B.3.1.VIII - Seminatrice su sodo (Fonte: Jana Epperlein, Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V., Germania).

⁵⁰ Ovvero tecniche che hanno lo scopo di conservare la *risorsa suolo*. Le tecniche di agricoltura conservativa sono spesso indicate anche con l'espressione *agricoltura blu*.



- la permanente copertura del suolo da residui colturali per almeno il 30% della superficie;
- la minima o non lavorazione del suolo;
- gli avvicendamenti colturali;

L'agricoltura conservativa è costituita da un insieme di pratiche agricole complementari (COMUNITA' EUROPEA - 2009):



Foto B.3.1.IX - Mais coltivato su sodo con i residui della coltura precedente ancora visibili (Fonte: Jana Epperlein, Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V., Germania).

- alterazione minima del suolo (tramite semina su sodo o lavorazione ridotta del terreno) al fine di preservare la struttura, la fauna e la sostanza organica del suolo;
- copertura permanente del suolo (colture di copertura, residui e coltri protettive) per proteggere il terreno e contribuire all'eliminazione delle erbe infestanti;
- associazioni e rotazioni colturali diversificate, che favoriscono i microrganismi del suolo e combattono le erbe infestanti, i parassiti e le malattie delle piante.

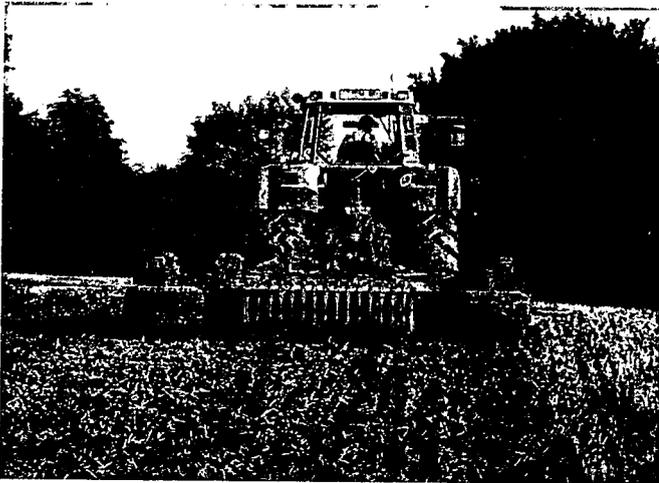
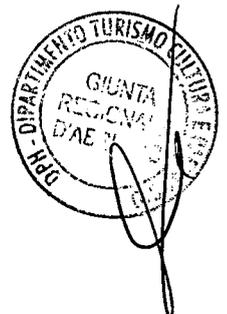


Foto B.3.1.X - Aratro a dischi usato per le operazioni colturali di lavorazione ridotta (Germania) (Fonte: Stephan Hubertus Gay).

L'obiettivo è quello di favorire la produzione ottimizzando le risorse e contribuendo a ridurre il degrado del terreno, attraverso la gestione integrata del suolo, dell'acqua e delle risorse biologiche. Le arature sono sostituite da lavorazioni superficiali o non lavorazioni (semina su sodo), che favoriscono il rimescolamento naturale degli strati di suolo ad opera della fauna (lombrichi), delle radici e di altri organismi, i quali contribuiscono a bilanciare le sostanze nutritive nel terreno. La fertilità del terreno viene gestita attraverso la copertura del suolo, le rotazioni colturali e la lotta alle erbe infestanti.

L'agricoltura conservativa si attua generalmente in quattro fasi della durata di circa due anni ognuna (COMUNITA' EUROPEA - 2009).

1. Si interrompe l'aratura sostituita da tecniche di non lavorazione o lavorazione minima. Un terzo della superficie rimane coperto da residui colturali e, dopo il raccolto della coltura principale, si introducono colture di copertura (intercalari). Si usano erpici a denti rigidi, rotativi o a disco, seminatrici dirette (per le non lavorazioni del terreno). Può verificarsi una riduzione delle rese.
2. Si verifica un miglioramento naturale delle condizioni del suolo e della fertilità grazie alla sostanza organica della decomposizione naturale dei residui. Erbe infestanti e parassiti tendono ad aumentare e vanno controllati, chimicamente o con altri mezzi.



3. Si possono (re-)introdurre o migliorare le rotazioni colturali. Il sistema si stabilizza progressivamente.
4. Il sistema raggiunge un equilibrio e si registra un miglioramento delle rese rispetto all'agricoltura tradizionale. Diminuisce la necessità di uso di sostanze chimiche per il controllo delle erbe infestanti, dei parassiti e per la fertilizzazione.

Per l'attuazione è necessario che gli agricoltori ricevano un'adeguata formazione per ciascuna fase. Nel breve periodo le rese possono risultare inferiori, ma i vantaggi diventano evidenti quando il sistema si stabilizza. Il metodo non è adatto a suoli compattati, da sottoporre prima a dissodamento.

I vantaggi e gli svantaggi dell'agricoltura conservativa possono essere sintetizzati come nella tabella seguente.

| VANTAGGI | SVANTAGGI |
|---|---|
| Migliorano le riserve di carbonio organico, l'attività biologica, la biodiversità aerea e sotterranea e la struttura del suolo. | Occorre in genere un periodo di transizione di 5-7 anni prima che si raggiunga l'equilibrio. Nei primi anni si può assistere a una riduzione delle rese. |
| La maggiore attività biologica porta alla formazione di macrobipori ben connessi ed essenzialmente verticali, che aumentano la capacità d'infiltrazione e la resistenza del suolo alla compattazione. | Se non vengono presi in considerazione i fattori stagionali, l'uso inappropriato di sostanze chimiche può aumentare il rischio di lisciviazione dovuto al più rapido movimento dell'acqua attraverso i biopori. |
| L'erosione idrica diminuisce notevolmente. | Se le rotazioni e/o le varietà colturali e la copertura del suolo non vengono adeguate a livelli ottimali, può essere necessario ricorrere a maggiori quantità di sostanze chimiche per controllare le erbe infestanti e i parassiti. |
| Le rese solitamente incrementano. | |
| La minore perdita di suolo e di nutrienti, la più rapida degradazione dei pesticidi ed il maggior adsorbimento (determinato da un aumento del contenuto di sostanza organica e dell'attività biologica) comporta un miglioramento della qualità dell'acqua. | Nel periodo di transizione, le emissioni di protossido di azoto (N ₂ O) aumentano. |
| | Investimento iniziale in macchinari specializzati e necessità di accesso, a costi ragionevoli, alle sementi di colture intercalari adattate alle condizioni locali. |
| Le emissioni di anidride carbonica (CO ₂) diminuiscono grazie all'uso ridotto di macchinari ed al maggiore accumulo di carbonio organico ⁵¹ . | Formazione esaustiva agli agricoltori, che devono avere accesso a servizi di consulenza agronomica specializzati. Rispetto all'agricoltura tradizionale, è necessario un radicale cambio di impostazione. |
| I costi di manodopera ed energia per le lavorazioni dei terreni diminuiscono. | |
| La necessità di fertilizzanti e gli interventi per il recupero dei terreni diminuiscono. | |

Tab B.3.1.IV – Vantaggi e svantaggi di un sistema di produzione agricola basato sull'agricoltura conservativa (rielaborazione da COMUNITA' EUROPEA – 2009).

⁵¹ Le pratiche di agricoltura conservativa potrebbero sequestrare tra i 50 e i 100 milioni di tonnellate di carbonio l'anno nei suoli europei, l'equivalente delle emissioni prodotte da 70-130 milioni di automobili (COMUNITA' EUROPEA - 2009).



Nella tabella B.3.1.V vengono descritte le principali tecniche di agricoltura conservativa.

| Pratica agricola | Descrizione ed effetti |
|--|---|
| <i>Cover crop</i> | Letteralmente "raccolto di copertura", più efficacemente traducibile con <i>colture di copertura</i> (COSTANTINI E., 1994). Semina di piante con lo scopo di proteggere il suolo dall'erosione. Le piante di copertura limitano la perdita di sostanze nutritive ed arricchiscono il terreno di sostanza organica quando vengono sovesciate, poco prima dell'impianto delle colture produttive. La tecnica ha un vantaggio economico in termini di risparmio sui fertilizzanti, ma uno svantaggio nella necessità di acqua, che le rende sconsigliabili in zone aride per non ridurre le disponibilità idriche per le colture produttive. Tra le essenze più utilizzate: trifoglio, lupino, melloto, veccia, erba medica, ravanello da foraggio, cavolo cinese, colza, senape, ecc. ⁵² . |
| <i>Pacciamatura</i> | Copertura del terreno con materiali quali paglie, foglie, corteccia, ecc. di protezione dall'azione degli agenti erosivi. Risulta vantaggiosa in situazioni aride perché favorisce la conservazione dell'umidità. Si usano inoltre materiali da destinare solitamente a rifiuto. Per essere efficace la pacciamatura deve coprire almeno il 70-75% ⁵³ della superficie. Percentuali minori non proteggono adeguatamente e percentuali maggiori inibiscono la crescita delle piante. |
| <i>Lavorazioni minime (minimum tillages)</i> | Le lavorazioni minime consistono nel manipolare meccanicamente il terreno solo per i pochi centimetri sufficienti ad operare con seminatrici. Si propongono quindi soluzioni alternative alle tecniche tradizionali (aratura, estirpatura, concimazione, erpicatura, semina, rullatura, sarchiatura, diserbo chimico), che vengono raggruppate in pochi passaggi, sostituite da lavorazioni più "leggere" o, in parte, eliminate. Queste tecniche si basano su valide considerazioni generali ⁵⁴ : le lavorazioni tradizionali sono molto costose e richiedono alti quantitativi di energia; i numerosi passaggi di macchine compattano il suolo peggiorando la fertilità; |
| <i>Non lavorazioni (no tillages)</i> | Non prevede alcuna modifica del profilo colturale perché il terreno viene lavorato solo per 5-15 cm e solo in corrispondenza delle file da seminare. Riduce drasticamente il numero di passaggi di mezzi meccanici. È caratterizzata da bassi input energetici, che permette una notevole riduzione dei costi di produzione. I suoi principi di base ⁵⁵ sono: <ul style="list-style-type: none"> • le lavorazioni possono provocare un eccessivo arieggiamento del suolo, che causa ossidazione della sostanza organica; • la stabilità della struttura del terreno non viene compromessa e la fertilità si mantiene a livelli ottimali; • il suolo non lavorato acquista una struttura simile a quella del prato perpetuandone i benefici se la non lavorazione segue tale coltura; • i residui colturali vengono lasciati sul posto, fornendo un effetto pacciamante; • contiene notevolmente i fenomeni erosivi. |

Tab B.3.1.V - Principali tecniche di agricoltura conservativa.

B.3.2 Sistemazioni idraulico-forestali

Per sistemazioni idraulico-forestali si intendono tutte quelle opere ed interventi di difesa del suolo nei bacini montani, che hanno per obiettivo:

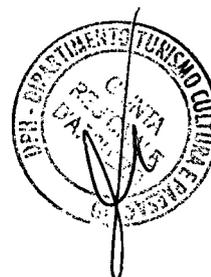
- la *correzione degli alvei e dei versanti montani*;
- la *riduzione della portata solida*;
- la *regimazione della circolazione idrica*.

⁵² (GIORDANI C., ZANCHI C. - 1995)

⁵³ Ibidem.

⁵⁴ Ibidem.

⁵⁵ Ibidem.



La **correzione degli alvei** e dei **versanti montani** comprendono sia interventi che diano stabilità agli alvei (con tendenza ad erodersi ed approfondirsi o ad interrarsi e rialzarsi), sia alle pendici soggette a dissesto.

Tali fenomeni sono per la maggior parte conseguenza diretta o indiretta dell'erosione idrica, che possiamo distinguere in due forme.

- *estensiva*, che si verifica sui versanti montani e collinari ed in generale sulle superfici declivi, che va controllata e moderata in modo che non assuma dimensioni tali da disturbare l'equilibrio geo-idrologico;
- *intensiva*, ossia forme localizzate, di cui la più grave e vistosa, è quella che erode gli alvei montani e scalza al piede i versanti determinandone il franamento (*erosione fluvio-franosa*).

Gli approcci tecnici per limitare e controllare la prima forma erosiva si basano essenzialmente su due principi:

- agire sul terreno, fornendogli una stabile protezione dall'erosione idrica, ossia di una sorta di "corazza" naturale, rappresentata da un'adeguata copertura vegetale;
- agire sull'acqua, attenuandone la forza erosiva attraverso regimazioni estensive delle acque scolanti, che ne diminuiscono la velocità e la possibilità di concentrarsi al di fuori della normale rete idrografica (naturale o artificiale).

Proteggere i versanti dalle forme erosive estese può essere inutile se gli alvei dei corsi d'acqua a valle sono soggetti ad erosione. Versanti montani, anche dotati di buona copertura vegetale, possono facilmente franare se l'abbassamento dell'alveo provoca un'erosione al piede, fino a superare le pendenze di stabilità. Rendere l'alveo stabile è una condizione primaria affinché lungo le pendici la vegetazione si affermi: autonomamente od in maniera "assistita" dall'intervento antropico.

La **riduzione della portata solida** è un obiettivo da perseguire in caso di interrimento eccessivo degli alvei, che ne diminuisce la capacità d'invaso. Si possono così creare pericoli di sovralluvionamento che aumentano i rischi di esondazione a valle. In questi casi si rendono spesso necessari interventi onerosi ed, a volte, temporanei (quali ad esempio il rialzamento degli argini fluviali).

Il pericolo di interrimento a valle degli alvei, è ovviamente strettamente connesso con la produzione di sedimenti solidi a causa dell'erosione, nella parte montana dei bacini idrografici, i cui danni vanno quindi a localizzarsi anche a distanza dall'area in cui l'erosione si verifica. Tale connessione è stata evidenziata nell'area di studio, analizzando la correlazione tra rischio idraulico e trasporto solido, con particolare riferimento al bacino del Torrente Calvano⁵⁶.

Potremmo distinguere le tipologie di provvedimenti da adottare nei problemi di interrimento degli alvei in due approcci, che si differenziano soprattutto per le loro caratteristiche temporali di efficacia.

- Opere di trattenuta dei materiali trasportati dalla corrente, realizzate trasversalmente ai corsi d'acqua, quali ad esempio le colmate di terra (ma anche le piccole briglie montane, che correggendo la pendenza dell'alveo, contribuiscono a bloccare il trasporto solido). Tali opere hanno effetto immediato, ma durata limitata nel tempo, ovvero fino al totale riempimento degli invasi creati.

⁵⁶ Cfr. par. A.10.1 "Interazioni tra rischio idraulico e trasporto solido".



- Opere ed interventi, intensivi ed estensivi, finalizzati al contenimento dell'erosione nel bacino montano. Tali interventi mostrano lentamente i loro effetti, soprattutto se sono legati all'uso di piante vive, ma danno risultati duraturi nel tempo.

Per attenuare la portata solida di corsi d'acqua con pronunciati problemi di interrimento, è fondamentale pianificare un approccio sistematorio che preveda opere di trattenuta trasversali, quando necessarie, ma anche interventi estesi sulle pendici in erosione e nella rete idrografica montana.

È bene precisare che il trasporto solido dei corsi d'acqua ha implicazione anche sulle dinamiche di erosione costiera. La riduzione della quantità di materiale sottile trasportato dai corsi d'acqua può provocare alterazioni nei litorali sabbiosi limitrofi e nella pianificazione di sistemazioni dei bacini montani occorre perciò tener presente questo aspetto.

Per **regimazione della circolazione idrica** si intende la regolazione della portate con lo scopo di evitare minimi di magra eccessivi, ma soprattutto di ridurre le punte di piena, che possono essere causa di disastri.

Per affrontare la questione si richiama nuovamente la *relazione di afflusso-deflusso*.

$$P = Q + I + E + T$$

P è l'afflusso idrometeorico
 Q è il deflusso idrico superficiale
 I è la componente che si infiltra e percola nel sottosuolo
 E è la componente che evapora
 T è la componente che traspira ad opera della vegetazione

Come già scritto, la parte dannosa dell'afflusso meteorico è quella che scorre in superficie e, raggiungendo i compluvi, crea l'onda di piena. Il controllo di questa componente si può ottenere attraverso due direttive fondamentali:

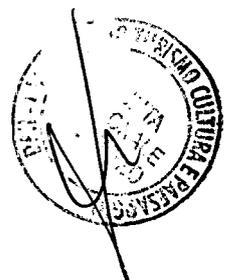
- rallentare il movimento dell'acqua, allungando il più possibile il tempo che intercorre tra il momento in cui una goccia d'acqua cade a terra e quello in cui va a formare la piena, ossia aumentare il *tempo di corrivazione* di un bacino idrografico;
- aumentare il più possibile la parte di acqua che si infiltra nel suolo e soprassuolo, che evapora e traspira ad opera della vegetazione, si tratta quindi di aumentare la *capacità di disperdimento* di un bacino idrografico.

Va precisato che la regolazione della circolazione idrica potrebbe essere ottenuta, in via teorica, anche con la sola realizzazione di serbatoi artificiali di invasamento delle piene. Ovviamente tale soluzione risulta solitamente onerosa, sia in termini strettamente economici, che nei suoi costi ambientali. D'altra parte anche quando tali opere risultano assolutamente necessarie, la capacità di trattenere l'acqua nella parte montana dei bacini riduce le dimensioni degli invasi. Il controllo dei fenomeni erosivi assicura inoltre maggiore efficienza e durata dei serbatoi e minori oneri di pulizia del materiale terroso sedimentato.

Le opere di sistemazioni idraulico-forestale hanno conosciuto nel secolo scorso un notevole sviluppo esecutivo, tanto che i principi di base non sono molto cambiati da allora.

Un certo progresso si è avuto invece nella disponibilità di materiali. Ai classici materiali naturali (soprattutto legname e pietrame), si sono aggiunti materiali artificiali, quali cemento, elementi metallici o materie plastiche. Anche la diffusione di macchine di movimento terra ha permesso migliorie, fornendo in particolare la possibilità di realizzare facilmente riprofilature dei versanti e briglie in terra.

Discorso a parte meritano i collegamenti che le sistemazioni idraulico-forestali possono avere con le moderne tecniche di ingegneria naturalistica. L'utilizzo di materiale vegetale vivo



con solide basi tecnico-scientifiche, che contraddistingue questa disciplina, può giovare notevolmente all'esecuzione di opere di sistemazione idraulico-forestale. Si pensi ad esempio alle classiche briglie in pietrame e legname, in cui la sapiente collocazione di talee ed arbusti radicati di specie igrofile, può migliorare notevolmente le opere realizzate in termini di efficacia, durata, necessità manutentive, inserimento paesaggistico e riqualificazione naturalistica. D'altra parte la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica progettate secondo i principi di base delle sistemazioni idraulico-forestali, porta ad una corretta implementazione degli interventi, garantendone l'efficacia.

Le opere di sistemazione idraulico-forestale sono quindi in genere migliorabili grazie alle tecniche di ingegneria naturalistica; le opere di ingegneria naturalistica sono invece ben collocate e dimensionate se progettate in base ai principi delle sistemazioni idraulico-forestali.

Le sistemazioni idraulico-forestali si distinguono in due categorie:

- *sistemazioni estensive*, quali rimboschimenti e gradonature;
- *sistemazioni intensive*, quali le briglie, le traverse, gli argini, le opere di consolidamento e rivestimento delle sponde, i drenaggi.

Possiamo inoltre distinguerle in relazione al loro ambito di applicazione:

- sistemazioni in *ambito di versante* (rimboschimenti, riprofilature, gradonature, drenaggi)
- sistemazioni in *ambito idraulico*, ossia opere di stabilizzazione dell'alveo e/o di difesa spondale, distinguibili in difese longitudinali⁵⁷ e difese trasversali⁵⁸.

Ambito di versante

Rimboschimenti

Il rimboschimento rappresenta uno dei classici strumenti di sistemazione idraulico-forestale estensiva, il bosco non è un fine⁵⁹, ma un mezzo, utilizzato per ottenere stabilità del terreno, controllo dell'erosione e regolazione delle piene, sfruttando la sua capacità di rallentare il movimento delle acque di scorrimento ed invasare temporaneamente acqua nel suolo e soprassuolo forestale.

L'effettivo ruolo del bosco e delle specie arboree nella difesa del suolo, va sempre attentamente valutato, poiché presenta limiti che è bene conoscere⁶⁰. Con questo non si vuole sminuire l'importanza del bosco nella difesa del suolo, ma solo collocarlo in una trattazione organica, che ne consideri i diversi risvolti.

La direttiva di conservare ed estendere le superfici boscate rimane prioritaria, anche per i vantaggi sociali ed economici che apporta e per le migliorie ambientali in termini di biodiversità vegetale ed animale, di immagazzinamento dell'anidride carbonica nella biomassa vegetale e nel suolo e di riqualificazione paesaggistica.

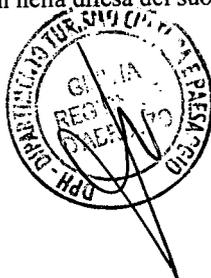
L'abbandono di aree montane e collinari adibite un tempo a destinazioni d'uso agro-silvo-pastorali ha, in un certo senso, reso disponibile più spazio al bosco. In realtà si tratta spesso di superfici già boscate, che l'uomo aveva eliminato, in tempi relativamente recenti, per impiantarvi attività produttive. Gli sforzi per aumentare l'estensione dei boschi, andrebbero quindi rivolte tendenzialmente proprio in queste aree, purché conservino le condizioni

⁵⁷ Che causano trascurabile modifica delle condizioni di deflusso idrico.

⁵⁸ Che causano sostanziale modifica delle condizioni di deflusso idrico.

⁵⁹ Come in selvicoltura.

⁶⁰ Sulle funzioni dei boschi nella difesa del suolo vedasi il par. B.2 "Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo".



(pedologiche e di stabilità) per sostenere un popolamento forestale. D'altra parte la rinaturalizzazione spontanea di coltivi abbandonati, è una dinamica naturale facilmente osservabile che inizia dalle specie erbacee e dagli arbusti pionieri, che preparano il terreno alla colonizzazione delle specie arboree.

I limiti dei boschi nella difesa del suolo possono essere in parte superati, affrontando il problema in un'ottica più generale di ricostituzione di un'ideale copertura vegetale.

Un progetto di ingegneria naturalistica si basa sull'utilizzo preminente di specie erbacee ed arbustive autoctone, appartenenti alla *serie vegetazionale più evoluta possibile in funzione delle caratteristiche ecologiche della stazione d'intervento*. In tale ottica l'impianto di specie arboree è valutato attentamente e viene effettuato solo se sussistono idonee condizioni ecologiche e di stabilità. Anche quando queste esistono la messa a dimora di alberi può essere notevolmente ridotta se si ha modo di attendere la loro naturale ricolonizzazione.

Interventi di ingegneria naturalistica di ricostituzione della copertura vegetale prevedono quindi di solito le tipologie vegetazionali del prato e del cespuglieto, per tendere, quanto possibile, al bosco. Una copertura erbacea ed arbustiva, anche se non possiede le capacità di dispersione dell'afflusso idrometeorico di un popolamento forestale, contribuisce comunque a rallentare la discesa delle acque, proteggere il suolo dall'erosione idrica e stabilizzare strati superficiali di terreno.

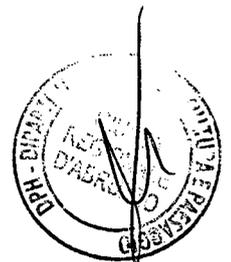
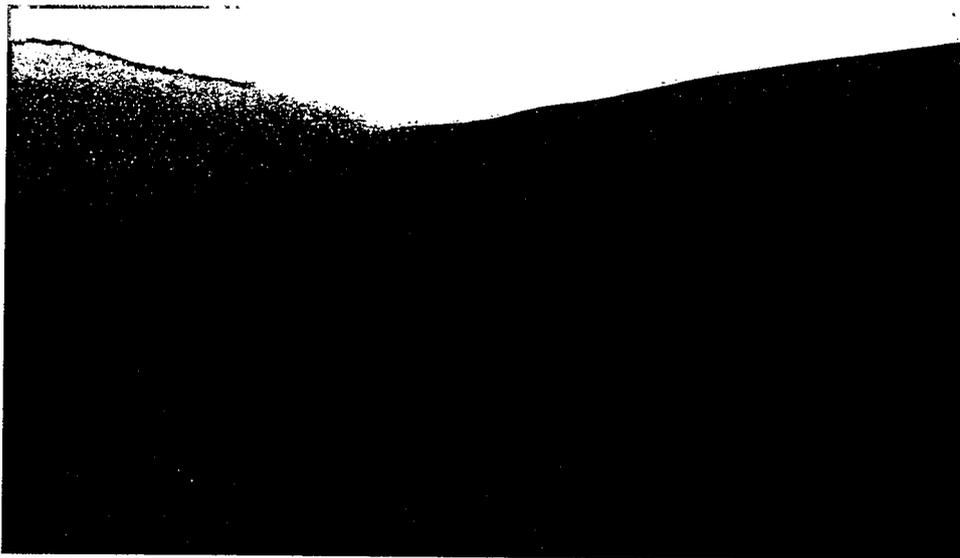


Foto B.3.2.I - Rimboschimenti di conifere a lato di aree interessate da ricolonizzazione spontanea di arbusti e specie arboree a latifoglie nel bacino del T. Calvano (C. Crocetti).

Riprofilature

Le *riprofilature dei versanti* rispondono al principio generale di fornire ai pendii un profilo che tenda a conformazioni di stabilità.

Riprofilare un versante per riportarlo a condizioni di equilibrio rappresenta uno dei metodi più semplici ed economici⁶¹ di sistemazione dei versanti. Bisognerebbe quindi sempre valutare la possibilità di riprofilare un pendio, se esistono le condizioni per modificarne la pendenza⁶².

⁶¹ Grazie alla possibilità di largo utilizzo di macchine di movimento terra.

⁶² Quali ad esempio sufficiente spazio per arretrare il ciglio e/o avvicinare il piede di un versante o l'esistenza di vie di accesso con mezzi meccanici.

Gradonature

Possiamo considerare le gradonature una particolare tipologia di riprofilatura, consistenti in semplici operazioni di sterro e riporto, con cui si ottengono immediate condizioni di miglior equilibrio ed immediato effetto regimante dell'acqua, moderando ed ostacolando la sua azione erosiva. Tale tecnica sistematoria trova una sua classica applicazione nella preparazione dei versanti da rimboschire.

Drenaggi

I drenaggi sono sistemazioni idraulico-forestali che consistono in dispositivi adatti a captare le acque sotterranee ed allontanarle dai versanti. Hanno una finalità differente rispetto a quella che rivestono in campo idraulico-agrario, in quanto sono utilizzati in maniera localizzata per favorire la stabilità dei versanti.

Nei terreni argillosi i drenaggi sono utili a smaltire l'acqua in eccesso che può determinare pericolose sovrappressioni destabilizzanti, favorendo quindi la stabilità del pendio. Nei terreni permeabili sono utili a smaltire l'acqua di percolazione, che si infiltra rapidamente ed in profondità.

Ambito idraulico

Difese trasversali

Le opere trasversali di sistemazione idraulico-forestale hanno tre campi d'applicazione: *correzione del profilo longitudinale*⁶³ del corso d'acqua, *consolidamento delle sponde*, *trattenuta di materiali solidi* trasportati dalla corrente. I primi due impieghi sono i principali ed hanno ripercussioni indirette sul terzo, riducendo tendenzialmente il trasporto solido della corrente. Si basano sul principio che compluvi stabili, sono una condizione necessaria, anche se non sempre sufficiente, per ottenere stabilità dei versanti.

Rientrano in questa categoria tutte le tipologie di *briglie*, *traverse* o *rampe* in legname, pietrame, cemento, terra, elementi metallici. L'effetto di trattenuta di materiale solido risulta limitato nel tempo, in rapporto alla velocità di riempimento dell'invaso a monte dell'opera.

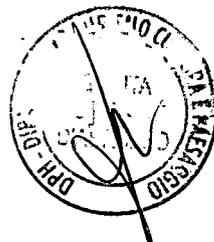
Le opere trasversali di sistemazione idraulico-forestale possono essere notevolmente migliorate, in termini di efficacia, funzionalità, inserimento ambientale e riconnessione ecologica, ricorrendo alle tecniche di ingegneria naturalistica. Si possono così applicare tecniche quali le briglie in legname e/o pietrame rinverdite con talee di salici o le rampe a blocchi, particolarmente utili per non rompere la connettività ecologica per l'ittiofauna.

Una nota a parte meritano le *briglie selettive* (o *filtranti*). Si tratta di opere trasversali che trattengono il materiale solido grossolano, lasciando defluire l'acqua ed il materiale terroso più fine, con positive ripercussioni anche sul ripascimento delle coste sabbiose limitrofe.



Foto B.3.2.II - Briglia di grosse dimensioni in cemento armato a protezione dell'abitato di Pizzoli (AQ) (C. Crocetti).

⁶³ Consolidamento degli alvei in scavo.



Tali opere trattengono quindi la frazione di materiale solido più pericoloso in termini di rischio idraulico. È il materiale più grossolano infatti che, raggiunto i tratti pianeggianti dei corsi d'acqua, sedimenta più facilmente perché le forze di trascinamento della portate ordinarie non sono più sufficienti a movimentarlo, determinando interrimento dell'alveo e quindi rischi di esondazione. Nel materiale più grossolano sono ovviamente inclusi massi, tronchi o altro materiale ingombrante che possono ostruire la sezione di deflusso, soprattutto in prossimità delle luci dei ponti.

L'impiego delle briglie selettive può poi seguire due sviluppi applicativi. Si possono lasciar riempire totalmente fino a correggere il profilo longitudinale dell'alveo, analogamente alle briglie tradizionali. Possono essere svuotate periodicamente e/o a seguito di eventi meteorici intensi, agendo ai soli fini di riduzione della portata solida.

Rientrano tra le opere trasversali anche i *repellenti* (o *pennelli*), manufatti che si protendono dalla sponda erosa in direzione trasversale all'alveo, con funzione di consolidamento spondale. Anche queste opere possono essere realizzate con l'impiego di tecniche afferenti all'ingegneria naturalistica.

Difese longitudinali

Le difese longitudinali hanno essenzialmente la funzione di difendere le sponde di un corso d'acqua. Rientrano in questa categoria i *muri di sponda* in cemento armato, le *gabbionate* in pietrame, le *scogliere* in blocchi lapidei incatenati e diverse tipologie di rivestimento, quali *lastroni* prefabbricati in cemento armato, *mantellate* in reti metalliche riempite di pietrame, *stuoie* e *reti*.

Anche queste opere, ad esclusione dei muri in cemento, possono essere migliorate grazie all'impiego di tecniche vive (gabbionate, scogliere e mantellate rinverdite), oppure possono essere sostituite, quando possibile, con tipologie quali: palificate e grate vive, fascinate e viminate, rulli spondali, coperture diffuse di astoni e ramaglia, ecc. Si migliora così la funzionalità e l'inserimento ambientale e paesaggistico degli interventi.

B. 4 Progettazione in ambito idraulico con criteri naturalistici

Gli interventi sui reticoli idrografici vanno impostati con un approccio sistemico a livello di bacino idrografico, consapevoli dello stretto rapporto tra i diversi elementi e le caratteristiche del corso d'acqua e della connessione tra i tratti montani e collinari con quelli di pianura.

In quest'ottica si danno nel presente paragrafo dei criteri generali di progettazione di interventi in ambito idraulico che, se pur non interessano direttamente l'area della Riserva, ne sono strettamente collegati.

Gli interventi in ambito idraulico possono essere suddivisi in due gruppi: *interventi di regimazione* ed *interventi di sistemazione*. I primi hanno l'obiettivo di regimare le portate di un corso d'acqua, i secondi di ottenere uno stabile assetto plano-altimetrico. Le opere di



Foto B.3.2.III - Briglie filtranti in pietrame e legname ed in strutture metalliche a monoancoraggio a protezione dell'abitato di Pizzoli (AQ) (C. Crocetti).



sistemazione possono essere suddivise in opere trasversali, che causano sostanziale modifica del deflusso idrico, e longitudinali, senza apprezzabili modifiche del deflusso idrico (SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. - 2003).

La difesa idraulica del territorio con criteri naturalistici prevede, non solo l'impiego di tecniche vive, ma anche azioni di diversificazione morfologica del tracciato plano-altimetrico e della sezione d'alveo, con l'obiettivo di favorire la stabilità del sistema e di ottenere un miglioramento degli ecosistemi acquatici e ripariali.

La diversità morfologica di un corso d'acqua si traduce direttamente in un aumento della biodiversità. La vegetazione igrofila non è solo un ostacolo al deflusso idrico, ma anche "una risorsa di interesse idraulico per la protezione flessibile delle sponde" (CORNELINI C. FERRARI R. -2008). Le piante favoriscono anche i processi fitodepurativi, e permettono lo sviluppo dell'ittiofauna e la riconnessione ecologica del territorio.

Bisogna quindi evitare il più possibile tratti rettificati e cementificati, perseguendo invece una riqualificazione ambientale dell'intero sistema idrografico, in tutte le sue parti e caratteristiche (alvei, sponde, fasce ripariali, tracciato plano-altimetrico, ecc.) e nei diversi tratti (montano, collinare e di pianura).

Le tecniche di ingegneria naturalistica risultano ovviamente particolarmente idonee per questi obiettivi progettuali, e il loro impiego è da considerare prioritario.

L'impiego dell'ingegneria naturalistica e l'intero approccio metodologico delineato, impongono un'attenta analisi delle componenti ambientali del bacino idrografico e delle loro interazioni con il deflusso idrico. Fondamentale è l'analisi dell'interazione tra il

corso d'acqua e la vegetazione, che da un lato influenza gli alvei, le sponde e le caratteristiche idrauliche, dall'altro queste ultime condizionano i popolamenti vegetali (Fig. B.4.1 e Tab B.4.1).

Fondamentale è anche la valutazione della qualità ambientale del sistema fluviale per orientare al meglio le scelte progettuali.

In questo modo si potranno, ad esempio, finalizzare interventi di salvaguardia e valorizzazione, nei tratti con una vegetazione ripariale di pregio naturalistico, ed interventi di riqualificazione ambientale, in quelli con forte degrado antropico.

A tal scopo la bibliografia tecnico-scientifica propone diversi metodi, quale ad esempio il noto Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) o metodi semplificati per analisi speditive (cfr. Cornelini P., Sauli G. in SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. - 2003, cap. 14).

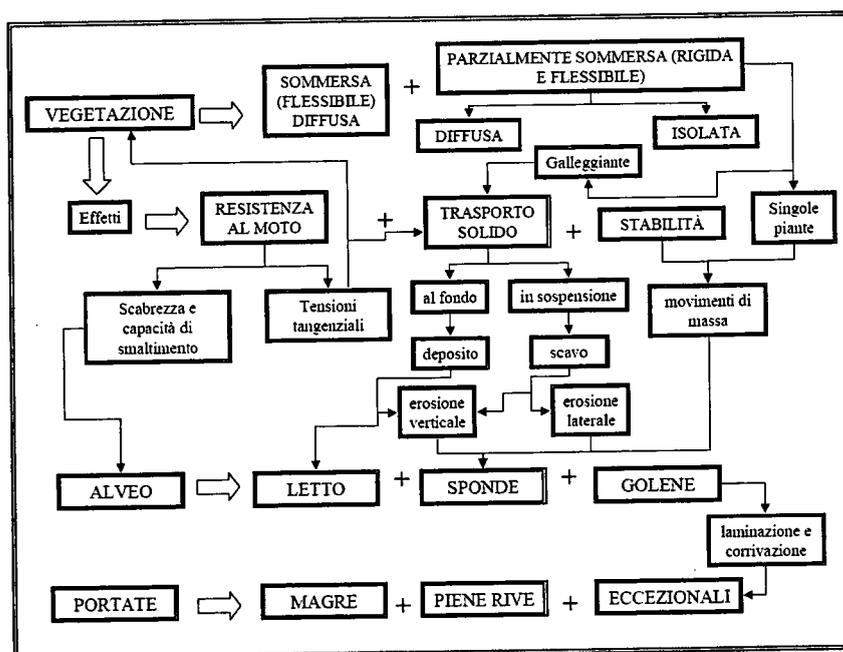


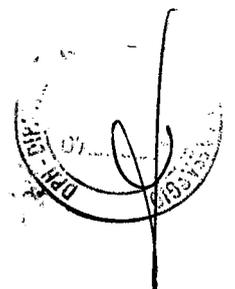
Fig. B.4.1 – Interazioni alveo-vegetazione (SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. - 2003).



Nella tabella B.4.II vengono sintetizzati brevemente i criteri da seguire per una progettazione naturalistica in ambiti idraulici e nella tabella B.4.III le ricadute ecologiche di interventi in ambito idraulico realizzati con criteri naturalistici.

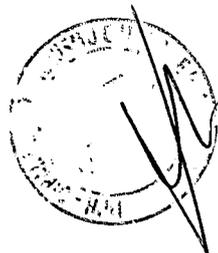
| FATTORI PER LA SCELTA DI UN METODO DI SISTEMAZIONE CON PIANTE VIVE | | |
|--|--|--|
| FATTORI BOTANICI | FATTORI ANTROPICI | FATTORI AMBIENTALI STAZIONALI |
| Morfologia delle parti epigee delle piante | Scelta delle talee | Esposizione |
| | | Luminosità |
| Densità dei rami | Densità d'impianto | Topografia |
| Struttura dei rami e delle foglie | Periodo di messa a dimora | Presenza di elementi nutritivi |
| Elasticità | Possibilità di manutenzione degli interventi | Struttura, tessitura e porosità del terreno |
| Vitalità | | |
| Interazioni con altra vegetazione presente o messa a dimora | Rischi di danni per cause umane o per il pascolo animale | Humus |
| | | PH |
| Capacità di rigenerazione | Modalità di esecuzione dei lavori | Umidità |
| Morfologia dell'apparato radicale | | Livello e velocità dell'acqua |
| | | Possibilità d'impianto di alto fusti |
| Profondità di sviluppo attesa dell'apparato radicale | | Possibilità di rifugio per l'ittiofauna sulle sponde |
| | Azioni dei microrganismi | |

Tab. B.4.I - Fattori che influenzano la scelta di un metodo di sistemazione con l'utilizzo di piante vive in ambito idraulico (rielaborazione da LACHAT - 1986).



| CRITERI DI PROGETTAZIONE NATURALISTICA IN AMBITO IDRAULICO |
|---|
| Interventi di difesa del suolo dei versanti delle aree montane e collinari. |
| Realizzazione di opere con massi (raschi) alternate con pozze per aumentare la diversità morfologica nei tratti montani ad elevata pendenza (se compatibili con morfologia corso d'acqua). |
| Interventi per limitare energia cinetica tramite riduzione di pendenza. Uso di briglie vive in legname e pietrame. Uso di rampe in pietrame (se compatibili con morfologia corso d'acqua) nei tratti a maggior energia cinetica, utili anche a favorire la risalita ittiofauna. |
| Realizzazione di casse di espansione con criteri naturalistici, che fungano anche da aree umide. |
| Realizzazione di aree esondabili in alveo con creazione di alvei di magra e di piena. |
| Interventi antiersosivi e di consolidamento dell'asta fluviale con tecniche di ingegneria naturalistica. |
| Ricostituzione aree di pertinenza del corso d'acqua. |
| Riduzione dei tratti rettificati, favorendo la meandricazione e l'asimmetria della sezione d'alveo. |
| Riduzione dei tratti cementificati per ripristinare il collegamento tra acqua e substrato. |
| Realizzazione di aree umide in corrispondenza di canali e fossi affluenti. |
| Realizzazione di fasce tampone di intercettazione degli inquinanti percolanti (soprattutto da coltivi e strade). |
| Realizzazione nelle aree limitrofe ai corsi d'acqua di boschetti e cespuglieti con funzione di riqualificazione naturalistica e paesaggistica e riconnessione ecologica del territorio. |
| Pianificazione degli interventi di manutenzione secondo quanto previsto dal DPR 14 aprile 1993. |
| Manutenzione della vegetazione ripariale, intesa come taglio di piante che hanno raggiunto diametri tali da non assicurare più l'elasticità dei fusti. |
| Tarare gli interventi in funzione delle caratteristiche del corso d'acqua nei diversi tratti (livelli medi e di piena, forze di trascinamento, caratteristiche sedimentologiche,...) in base al principio del livello minimo di energia. |

Tab. B.4.II – Criteri di progettazione naturalistica in ambito idraulico (rielaborazione da SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. - 2003).



| TIPO INTERVENTI | AZIONI | BENEFICI ECOLOGICI IN TERMINI DI BIODIVERSITA' E NUOVE UNITA' ECOSISTEMICHE |
|--|---|---|
| MODIFICHE MORFOLOGICHE IN ALVEO | Demolizione tratti cementificati | Rivitalizzazione alveo con potenzialità per corridoi ecologici ed habitat acquatici e terrestri |
| | Realizzazione sinuosità con meandri | Habitat per macrobenthos, ittiofauna avifauna e fitocenosi igrofile |
| | Realizzazione isole | Stadi di vegetazione igrofila e terrestre, avifauna |
| | Allargamento sezione con realizzazione di golene e tratti a minor battente idrico | Popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna |
| | Realizzazione alveo di magra per il deflusso minimo | Ittiofauna e macrobenthos |
| | Realizzazione sezioni asimmetriche | Stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna |
| | Realizzazione aree di espansione | Stadi di vegetazione igrofila, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna |
| | Realizzazione sponde a varie pendenze | Stadi di vegetazione igrofila e terrestre |
| | Realizzazione sponde ripide | Habitat per avifauna |
| | Realizzazione di rampe di risalita in pietrame o soglie basse in legname e pietrame | Continuità biologica per ittiofauna |
| MODIFICHE MORFOLOGICHE FUORI ALVEO | Realizzazione aree di espansione o laminazione | Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna |
| | Realizzazione piccole aree umide | Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna |
| | Realizzazione di ecosistemi filtro per la fitodepurazione | Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna |
| TECNICHE ANTIEROSIVE E DI CONSOLIDAMENTO DELLE SPONDE | Impiego di tecniche di ingegneria naturalistica | Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi, habitat per avifauna e micromammiferi |
| RIQUALIFICAZIONE AMBIENTE FLUVIALE FUORI ALVEO | Realizzazione di fasce boscate sul ciglio delle sponde anche con espropri | Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi, habitat per avifauna e micromammiferi |

Tab. B.4.III – Ricadute ecologiche di interventi idraulico-naturalistici (SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. - 2003).



B.5 Ingegneria naturalistica

L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antierosivi, stabilizzanti e di consolidamento, da sole o in abbinamento con altri materiali (*paglia, legno, pietrame, reti metalliche, biostuoie, geotessuti, ecc.*). Tale approccio, innovativo ma con antiche radici⁶⁴, permette di raggiungere obiettivi tecnico-funzionali, con indubbi vantaggi sotto il profilo ambientale e paesaggistico e con costi spesso concorrenziali ad analoghe opere realizzate con tecniche classiche "in grigio". Il ricorso a tecniche di Ingegneria Naturalistica nella difesa del suolo è inoltre considerato prioritario dalla normativa nazionale e regionale (*DPR 554/99, Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo,...*).

L'espressione **Ingegneria Naturalistica** è stata introdotta nel 1990⁶⁵, come traduzione del tedesco "*Ingenieurbiologie*", abbandonando la denominazione utilizzata fino a quel momento di "Bioingegneria", per la possibile confusione con la bioingegneria medica. Il termine *Ingegneria* indica che "si utilizzano dati tecnici e scientifici a fini costruttivi, di consolidamento ed antierosivi; *Naturalistica* perché tali funzioni sono affidate in prevalenza a piante vive autoctone, con finalità di ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale ed all'aumento di biodiversità" (AIPIN - 1997).

Le finalità degli interventi di ingegneria naturalistica sono principalmente quattro.

- **tecnico-funzionali**: antierosive, stabilizzanti e di consolidamento;
- **naturalistiche**: ricostruzione o innesco di ecosistemi paranaturali;
- **paesaggistiche**, di "ricucitura" al paesaggio naturale circostante;
- **economiche**, in quanto strutture competitive ed alternative ad opere tradizionali;

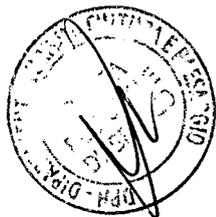
Le tecniche di ingegneria naturalistica si possono distinguere in diverse categorie di interventi:

- di rivestimento o antierosivi (*semine, idrosemine e rivestimenti vegetativi con stuoie, reti, ecc.*);
- stabilizzanti (*messa a dimora di arbusti e talee, fascinate, gradonate, viminate, ecc.*);
- combinati di consolidamento (*palificate, scogliere, terre rinforzate, ecc.*);
- particolari (*barriere antirumore, opere frangivento, interventi di riconnessione della rete ecologica ecc.*).

Le prime tre categorie sono quelle riferibili direttamente alla difesa del suolo ed alla manutenzione del territorio.

⁶⁴ Le radici dell'ingegneria naturalistica sono sicuramente da rintracciare principalmente nelle *sistemazioni idraulico-forestali*, con il contributo dell'*ecologia vegetale*, per la scelta delle piante vive da mettere a dimora. L'utilità delle piante vive e dei materiali naturali nel controllo dei dissesti del suolo è sapienza antica, rintracciabile in autori latini quali Columella, Cesare e Catone; in scienziati del rinascimento o dotti del '700 come Leonardo da Vinci o Giovan Battista Landeschi. Anche gli eventi bellici hanno contribuito a sviluppare tecniche di utilizzo di materiali morti naturali (legno, pietre, terra, ecc.), ma anche di piante vive (arbusti, zolle erbose, ecc.), facilmente reperibili sul loco. Possiamo citare ad esempio gli *oppida* romani, assimilabili a palificate e terre rinforzate; oppure le opere del Genio Militare (per realizzare trincee, ricoveri, ecc.) con le finalità di stabilizzare i pendii e mimetizzare le postazioni (cioè per favorire un loro "inserimento paesaggistico"). Di interesse storico è anche il primo riferimento nel panorama legislativo italiano all'uso di piante vive nella difesa del suolo. Il D.M. 20 agosto 1912 *Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti di sistemazione idraulico forestale nei bacini montani* recita "...impiegare i materiali rustici del sito, pietre, legnami, chiedendo alla forza della vegetazione i materiali viventi per il consolidamento dei terreni...", sicuramente una prescrizione *ante litteram* di impiego di tecniche di ingegneria naturalistica nella difesa del suolo (cfr. Cornellini P. in SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003, cap. 7).

⁶⁵ I° Congresso di Ingegneria Naturalistica, Torino.



La combinazione di tecniche di *consolidamento profondo* (che agiscono fino a qualche metro di profondità), con opere di *stabilizzazione superficiale* (fino a circa 0,6-1,2 m di profondità) ed *antierosive* (fino a ca. 30 cm), è spesso un presupposto fondamentale per una buona riuscita di un qualsiasi intervento. Solo in questo modo si possono realizzare interventi su versanti e corsi d'acqua che realizzino un'efficace e duratura difesa dal maggior numero possibile di aggressioni degli agenti erosivi.

Per quanto riguarda le necessità manutentive delle opere di ingegneria naturalistica, bisogna distinguere breve e lungo periodo dalla fine dei lavori. In generale si può affermare che le necessità manutentive siano inverse rispetto ad opere in cemento armato: nel breve periodo possono essere elevate a causa della presenza di piante vive, ma con il tempo, grazie all'affermarsi della copertura vegetale diminuiscono, tendendo ad autoregolarsi ed autosostenersi. Vanno quindi previsti idonei piani di manutenzione in sede di progetto, con accantonamento dei relativi oneri necessari, pianificando idonee azioni manutentive soprattutto nelle prime stagioni vegetative, che sono determinanti per l'attecchimento delle piante messe a dimora.

I campi di applicazione dell'ingegneria naturalistica possono essere diversi e suddivisibili in due filoni principali: interventi sul territorio ed interventi sulle infrastrutture (Tab. B.5.I).

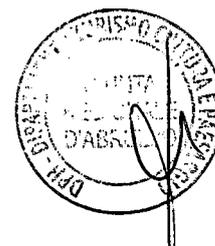
| SETTORI DI APPLICAZIONE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA | |
|--|---|
| Interventi sul territorio | Interventi sulle infrastrutture |
| <i>Sistemazioni in ambito di versante</i> (frane, controllo dell'erosione, ecc.) | <i>Interventi di mitigazione ed opere di consolidamento in ambito stradale/ferroviario</i> (consolidamento e stabilizzazione scarpate, barriere e rilevati vegetati antirumore, vasche di sicurezza ed ecosistemi filtro, fasce vegetate tampone, ricostruzione di habitat, ecc.) |
| <i>Sistemazioni in ambito idraulico</i> (difese spondali, di consolidamento dell'alveo, ecc.) | <i>Metanodotti e condotte interrati</i> |
| <i>Mantenimento della continuità faunistica</i> (recinzioni, sottopassi e sovrappassi, scale risalita per ittiofauna) | <i>Interporti, centrale elettriche, insediamenti industriali</i> |
| <i>Riqualficazione di cave e discariche</i> | <i>Porti</i> |
| <i>Interventi in ambito costiero e marino</i> (stabilizzazione dune costiere, ricostituzione di prati sottomarini di <i>Posidonia oceanica</i> , ecc.) | <i>Coperture verdi</i> |
| <i>Ricostituzione barene lagunari</i> | |
| <i>Rinaturalizzazione dighe in terra</i> | |

Tab. B.5.I Settori di applicazione dell'ingegneria naturalistica (rielaborazione da SAULI, CORNELINI, PRETI – 2003, 2006).

B.5.1 Riferimenti normativi e manualistici

Si riporta un breve elenco di normative di riferimento utili ad inquadrare la tematica dell'ingegneria naturalistica nel suo contesto legislativo. Si riportano inoltre alcuni manuali e linee guida pubblicati da soggetti istituzionali, che si possono considerare di riferimento per un corretto approccio progettuale alla disciplina.

- L. 52/1904 *Testo unico sulle opere idrauliche*;
- D.M. 20 agosto 1912 *Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti di lavori di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani*;
- L. 183/89 *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*;
- D.P.R. 14 aprile del 1993 *Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale*.



- D.P.R. 554/1999 *Regolamento di attuazione della legge quadro sui lavori pubblici*;
- D. Lgs. 152/1999 *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane*;
- D.P.R. 34/2000 *Regolamento recante istituzione del sistema di qualificazione per gli esecutori di lavori pubblici* (classifica l'ingegneria naturalistica alla categoria OG13).
- D. Lgs. 163/2006 *Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture*;
- D. Lgs. 152/2006 *Norme in materia ambientale*
- *Piano Stralcio difesa alluvioni e Piano Stralcio fenomeni gravitativi e processi erosivi della Regione Abruzzo*, in cui si fanno specifici riferimenti all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica negli interventi in ambito idraulico e di versante;
- Delib. G. R. 30.03.01, n. 494 *Atti di indirizzo, criteri e metodi per la realizzazione di interventi sui corsi d'acqua della Regione Abruzzo*;
- *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica* (2006) del Ministero dell'Ambiente e Ministero dell'Economia;
- *Manuale d'indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica* (2005) del Ministero dell'Ambiente e Ministero dell'Economia (*Progetto PODIS*);
- *Manuali di ingegneria naturalistica della Regione Lazio e del Min. dell'Ambiente*; vol. I settore idraulico (2003); vol. II settore infrastrutture (2005); vol. III settore versanti (2006).
- *Quaderni di cantiere della Regione Lazio*; vol. 1-12 (2006); vol. 13-18 (2008).
- *Linee guida per gli interventi di riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco* (2006) della Regione Liguria e del Ministero dell'Ambiente
- *Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco del Vesuvio* (2001) dell'Ente Parco Nazionale del Vesuvio.
- *Ingegneria naturalistica: nozioni e tecniche di base* (2007) della Regione Piemonte.
- *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica* (2003) della provincia di Terni
- *Manuale per il recupero ambientale con tecniche di ingegneria naturalistica dei detritori ambientali* (2008) della Regione Abruzzo.

B.5.2 Caratteristiche della progettazione e settori di analisi

Un progetto di ingegneria naturalistica si basa su una adeguata conoscenza delle caratteristiche ecologiche dell'area d'intervento in modo da perseguire finalità tecniche, ma anche naturalistiche e paesaggistiche.

L'approccio metodologico necessita quindi di approfondimenti riguardo agli aspetti vegetazionali, geologici e topografici, al fine di intervenire con tecniche antierosive, stabilizzanti e di rinaturazione idonee e per realizzare obiettivi di riqualificazione ambientale dell'area.

Ciò che principalmente caratterizza l'intervento di Ingegneria naturalistica è (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003, 2006):

- l'esame delle caratteristiche topoclimatiche e microclimatiche;
- l'esame delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche;
- la valutazione delle possibili interferenze reciproche con infrastrutture presenti;
- la base conoscitiva vegetazionale;
- l'utilizzo degli inerti tradizionali, ma anche di materiali di nuova concezione quali stuoie e geotessuti sintetici in abbinamento a piante o parti di esse;



- l'accurata selezione delle specie vegetali da impiegare;
- l'abbinamento della funzione antierosiva con quella di reinserimento ambientale e naturalistico;
- il miglioramento nel tempo delle due funzioni sopra citate a seguito dello sviluppo delle parti epigee e ipogee delle piante impiegate, con il mascheramento delle componenti artificiali dell'opera.

Gli interventi di ingegneria naturalistica, e volendo qualsiasi intervento di difesa del suolo, vanno progettati secondo il **principio del livello minimo di energia**, il quale prevede che si adotti la tecnica meno complessa a parità di risultato (Fig. B.5.2.1), valutando anche la così detta *opzione zero*, ossia l'ipotesi di non intervento.

La possibilità di utilizzare specie vegetali autoctone e diverse tipologie di materiali naturali (legname, pietrame, ecc.) ed artificiali (metalli, plastiche, ecc.), richiede di essere valutata in funzione dei diversi contesti di intervento. In questo senso l'utilizzo di materiali artificiali è compatibile per interventi in aree urbane o industriali, mentre è ammissibile in aree protette solo se strettamente necessario; oppure l'impiego di piante esotiche è incompatibile in aree protette, ma ammissibile in sistemazioni di parchi e giardini urbani (Tab. B.5.2.1).

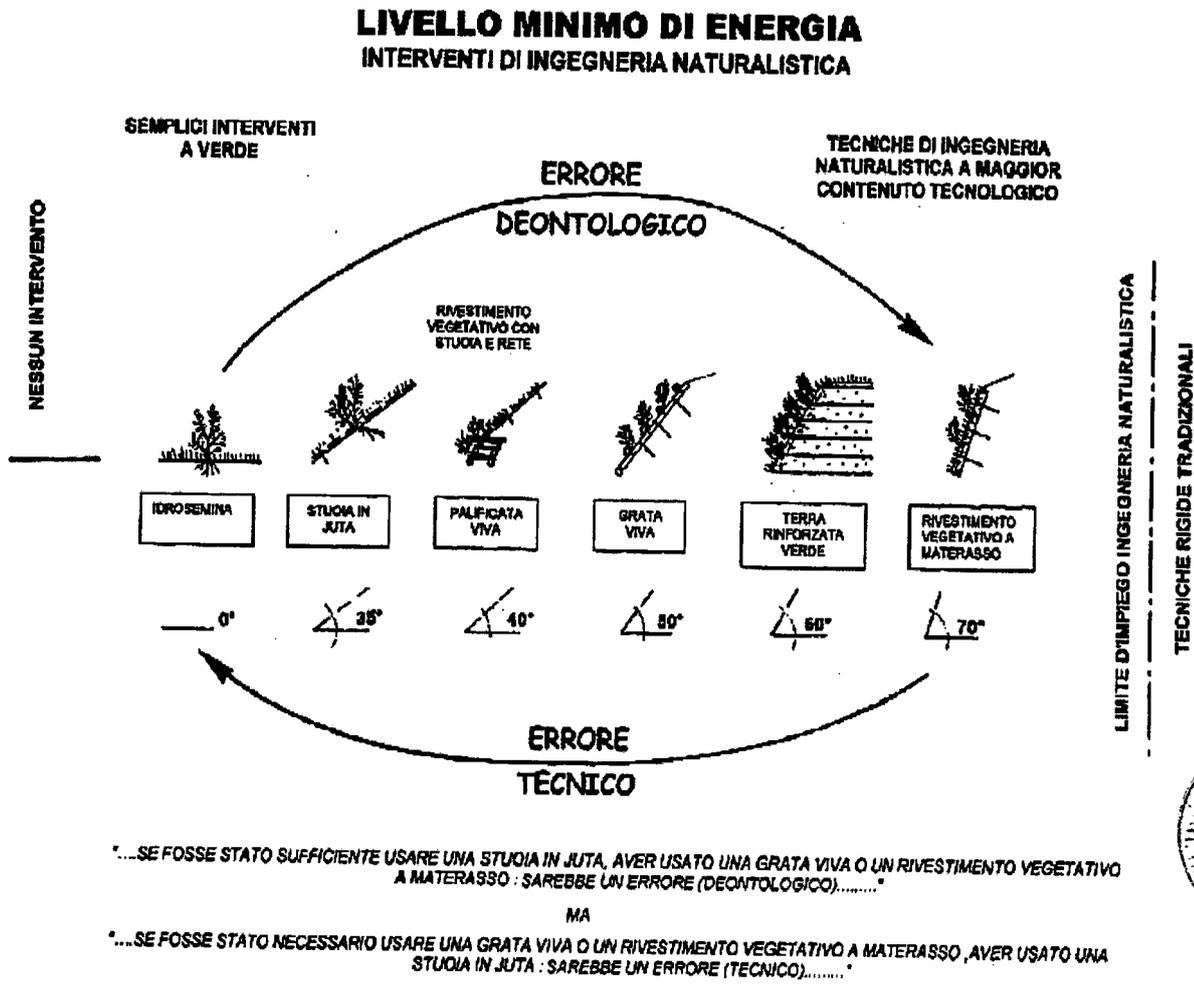


Fig. B.5.2.1 - Principio del livello minimo di energia (SAULI, CORNELINI, PRETI – 2003, 2006).

**PREFERIBILITA' / LICEITA' D'IMPIEGO
DEI MATERIALI VIVI E MORTI PER LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA**

| AMBITI D'IMPIEGO | | PIANTE | | | MATERIALI UTILIZZABILI | | |
|--|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | | ← NATURALITA' CRESCENTE | | | ← NATURALITA' CRESCENTE | | |
| | | PIANTE AUTOCTONE | PIANTE ESOTICHE NATURALIZZATE | PIANTE ESOTICHE DI RECENTE INTRODUZIONE | MATERIALI NATURALI | MATERIALI BIODEGRADABILI | MATERIALI ARTIFICIALI |
| 1 2 3 4 5 6 ↑ NATURALITA' CRESCENTE | AREE PROTETTE | xxx | . | . | xx | xx | -(1) |
| | AREE NATURALI | xxx | . | . | xx | xx | x |
| | AREE AGRICOLE | xx | x | . | xx | xx | x |
| | PARCHI E GIARDINI | xx | x | x | x | x | x |
| | AREE URBANE | xx | x | x | x | x | x |
| | AREE INDUSTRIALI | xx | x | x | x | x | x |

- *
xxx Impiego esclusivo
xx Impiego preferenziale
x Impiego in funzione delle scelte progettuali
. Incompatibilità assoluta
(1) Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti

N.B.: nelle categorie "materiali: naturali, biodegradabili, artificiali" si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti (es. chiodo in ferro acciaioso nella palificata viva in legno)

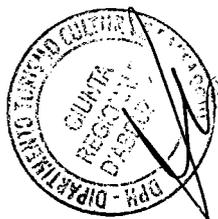
Tab. B.5.2.I – Preferibilità/liceità d'impiego dei materiali vivi e morti per gli interventi di ingegneria naturalistica (SAULI, CORNELINI, PRETI – 2003, 2006).

La corretta progettazione di opere di ingegneria naturalistica prevede analisi più o meno approfondite in diversi settori a seconda delle finalità, delle dimensioni, del tipo d'intervento e delle caratteristiche del sito in dissesto.

Settori di analisi:

- litologia;
- geomorfologia;
- topografia;
- pedologia;
- topoclina, microclima;
- vegetazione;
- geotecnica;
- idraulica;
- idrologia;
- biotecnica delle specie vegetali;
- interferenze con dinamismi faunistici;
- tecnologie dei materiali.

Un progetto di ingegneria naturalistica necessita quindi delle classiche analisi, che vanno normalmente effettuate per impostare un'ideale progettazione in materia di difesa del suolo, ma anche di analisi specialistiche aggiuntive (Tab. B.5.2.III) che contraddistinguono la disciplina. Le analisi tradizionali hanno comunque di solito bisogno di un affinamento e



approfondimento, per valutare al meglio l'applicabilità delle tecniche e per poter scegliere correttamente le tipologie più adatta (Tab. B.5.2.II).

| ANALISI TRADIZIONALI | |
|--|--|
| analisi geologica analisi geotecnica analisi idraulica analisi idrologica analisi topografica | |
| Ambito di versante | Ambito idraulico |
| <i>Sezioni topografiche di dettaglio dei versanti:</i> la scelta delle tecniche corrette da utilizzare è notevolmente influenzata dalle pendenze presenti. | <i>Sezioni topografiche di dettaglio delle sponde:</i> la scelta delle tecniche corrette da utilizzare è notevolmente influenzata dalle pendenze presenti. |
| <i>Profilo litostratigrafico:</i> verifica della fattibilità delle opere di I.N. riguardo le fondazioni | <i>Profilo litostratigrafico:</i> verifica della fattibilità delle opere di I.N. riguardo le fondazioni |
| | <i>Individuazione dei livelli idrici dei corsi d'acqua:</i> livello di piena e livello medio per una corretta collocazione del materiale vegetale ed una corretta scelta delle tecniche. |
| | <i>Individuazione delle velocità di deflusso:</i> da cui dipendono le forze che agiscono sulle opere in alveo e sulle sponde. |
| | <i>Individuazione del diametro del trasporto solido</i> che influisce sulla scelta delle tipologie tecniche. |

Tab. B.5.2.II – Analisi tradizionali e necessari approfondimenti per la progettazione di interventi di ingegneria naturalistica.

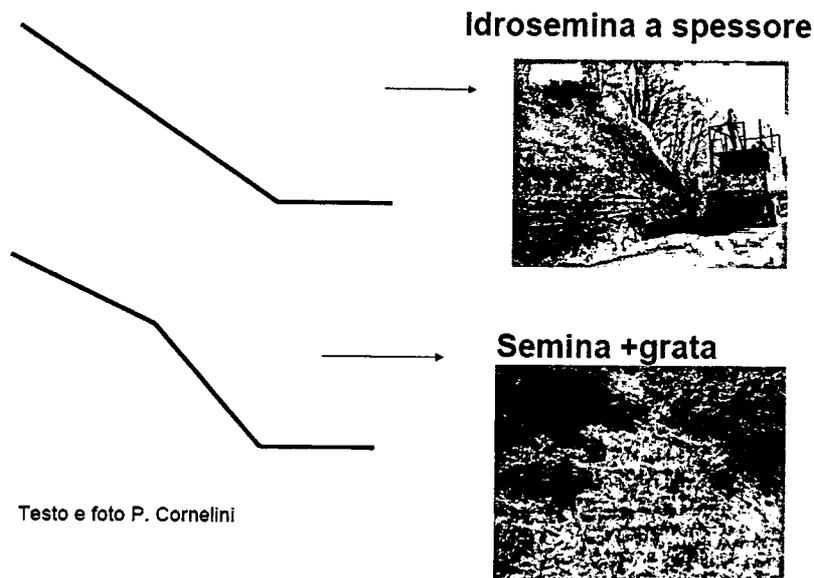


Fig. B.5.2.II - Sezioni topografiche di dettaglio per la corretta scelta delle tecniche da utilizzare (testo e foto ex CORNELINI P).

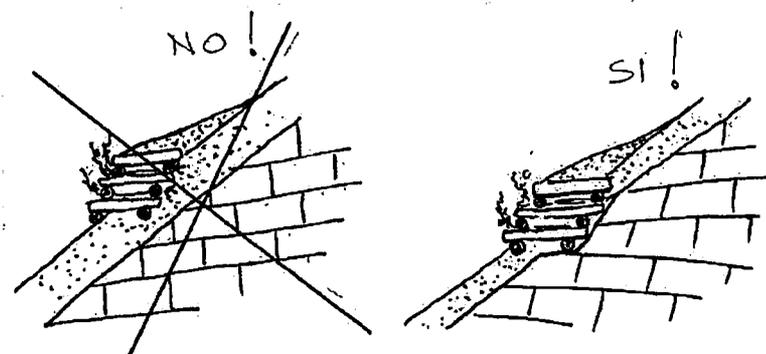


Fig. B.5.2.III - Analisi del profilo litostratigrafico per verifica della fattibilità delle opere di ingegneria naturalistica riguardo le fondazioni (CORNELINI, SAULI - 2005).

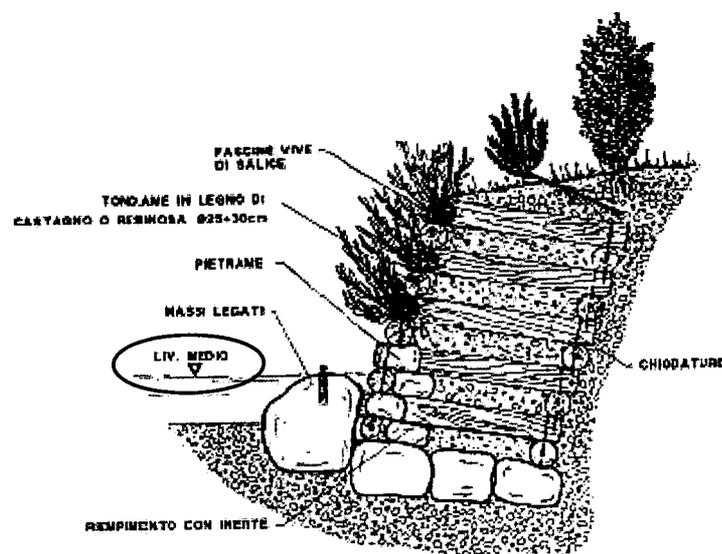
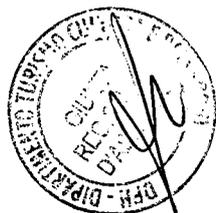


Fig. B.5.2.IV - Individuazione del livello medio per una corretta collocazione del materiale vegetale vivo e dei diversi materiali (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003).

| ANALISI SPECIALISTICHE AGGIUNTIVE | |
|--|---|
| Analisi | Finalità |
| Analisi climatica | Inquadramento dell'area di intervento e determinazione delle specie vegetazionali di progetto |
| Analisi vegetazionali (floristica e fitosociologica) | Determinazione delle specie vegetazionali di progetto (<i>progetto botanico</i>). |
| Analisi pedologica | Inquadramento dell'area d'intervento |
| Analisi faunistiche | Conoscenza delle interferenze e dei dinamismi faunistici |

Tab. B.5.2.III – Analisi specialistiche aggiuntive necessarie alla progettazione di interventi di ingegneria naturalistica.



B.5.2.1 Criteri di selezione delle tecniche nelle sistemazioni di versante

Le sistemazioni dei versanti costituiscono l'ambito applicativo dove sono nate le tecniche di ingegneria naturalistiche⁶⁶, grazie all'impiego ed al reimpiego di materiali naturali facilmente reperibili in loco: legname, pietrame e ramaglie vive di salici. Si sono quindi sviluppate tecniche caratterizzate da tecnologie semplici, basso impatto ambientale, basso costo dei materiali ed alto contenuto di manodopera. Le figure B.5.2.1.I, B.5.2.1.II, B.5.2.1.III riportano schemi grafici delle principali tecniche⁶⁷ applicabili ai versanti, suddivise secondo la tradizionale classificazione in interventi *antierosivi*, *stabilizzanti* e *combinati di consolidamento*. La scelta di una determinata tipologia tecnica dipende da diversi fattori: pendenza, tipologia di substrato, profondità del dissesto, presenza di acqua di scorrimento superficiale e/o sotterranea ed anche dai vincoli sugli spazi disponibili per gli ingombri delle opere. La tabella B.5.2.1.I aiuta ad individuare in via preliminare le tipologie tecniche di ingegneria naturalistica e tradizionali correlandole al meccanismo di dissesto.

Senza entrare nel merito delle questioni progettuali, per le quali si rimanda ai manuali citati al par B.5.1 "Riferimenti normativi, manualistici e bibliografici", si riportano alla figura B.5.2.1.IV due semplici diagrammi, che permettono una selezione preliminare delle tipologie tecniche più appropriate alle condizioni del versante d'intervento. Come mostrano gli schemi, i quesiti da porsi riguardano (CORNELINI, SAULI - 2005):

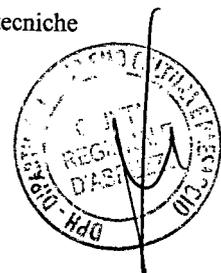
1. la presenza di acqua nella scarpata e la sua profondità, da cui dipende la possibilità di essere eliminata con drenaggi superficiali realizzati con materiali tradizionali abbinati, con drenaggi biotecnici, oppure con drenaggi tecnici più profondi;
2. Il dissesto erosivo (o il pericolo che possa verificarsi) è superficiale (risolvibile con semine), o più profondo, ma sempre alla portata della radicazione delle piante, oppure al di fuori, richiedendo quindi interventi tecnici;
3. anche nel caso dell'erosione che interessa la sfera di radicazione delle piante le possibilità sono due: a) bastano gli interventi con il solo uso delle piante (semine messa a dimora di talee, arbusti, alberi, gradonate); b) servono tecniche combinate di ingegneria naturalistica.

Nel caso 3.b bisogna domandarsi se:

- basta un consolidamento al piede;
- servono opere temporanee di sostegno (palificate, grate);
- servono opere permanenti (gabbionate, terre rinforzate).

⁶⁶ Le tecniche di ingegneria naturalistica sono nate nella prima metà del '900 in centro Europa, ed in particolare in Austria, nell'ambito delle sistemazioni idraulico-forestali in aree montane. A partire dalla fine degli anni '40 si sono sviluppate notevolmente. A causa della penuria di materiali, quali cemento ed acciaio, alla fine del conflitto si riscoprono materiali tradizionali. Sono datate 1948 le prime esperienze dell'austriaco H. M. Schiechl, considerato il padre della disciplina. Negli anni '50 e '70 l'ingegneria naturalistica si diffonde soprattutto nei paesi di lingua tedesca. Dagli anni '70 si assiste ad una sistematica applicazione in tutto il centro Europa e presto anche nelle aree italiane dell'Alto Adige e del Trentino. Grazie all'impegno di diversi professionisti, alla disponibilità di nuovi materiali ed anche ad una maggiore sensibilità verso le tematiche ambientali, l'ingegneria naturalistica si diffonde anche nel nostro paese. Nel 1989 nasce l'A.I.P.I.N. *Associazione Nazionale Per l'Ingegneria Naturalistica* con sede a Trieste, associazione senza fini di lucro, a cui va sicuramente il merito di aver favorito la diffusione della disciplina grazie a convegni, corsi, cantieri didattici e sperimentali, pubblicazioni, iniziative di sensibilizzazione, divulgazione ed informazione. Le sistemazioni di ingegneria naturalistica sono quindi da considerarsi ormai diffuse anche nell'area mediterranea della penisola italiana e dell'intera Europa (Spagna, Portogallo, ecc., dove operano associazioni analoghe all'AIPIN). (cfr. cap. 3 di (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003)

⁶⁷ Per una panoramica esaustiva delle tipologie tecniche dell'ingegneria naturalistica si rimanda alle schede delle tecniche contenute nei diversi manuali citati al par. B.5.1 "Riferimenti normativi, manualistici e bibliografici".



A - INTERVENTI ANTIEROSIVI DI RIVESTIMENTO

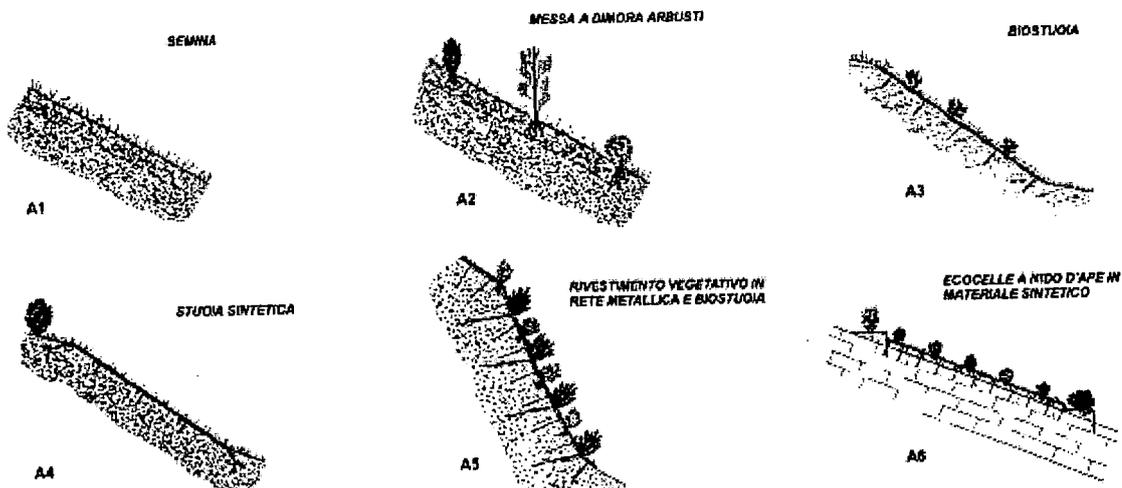


Fig. B.5.2.1.I - Tecniche antierosive (CORNELINI, SAULI - 2005).

B - INTERVENTI STABILIZZANTI

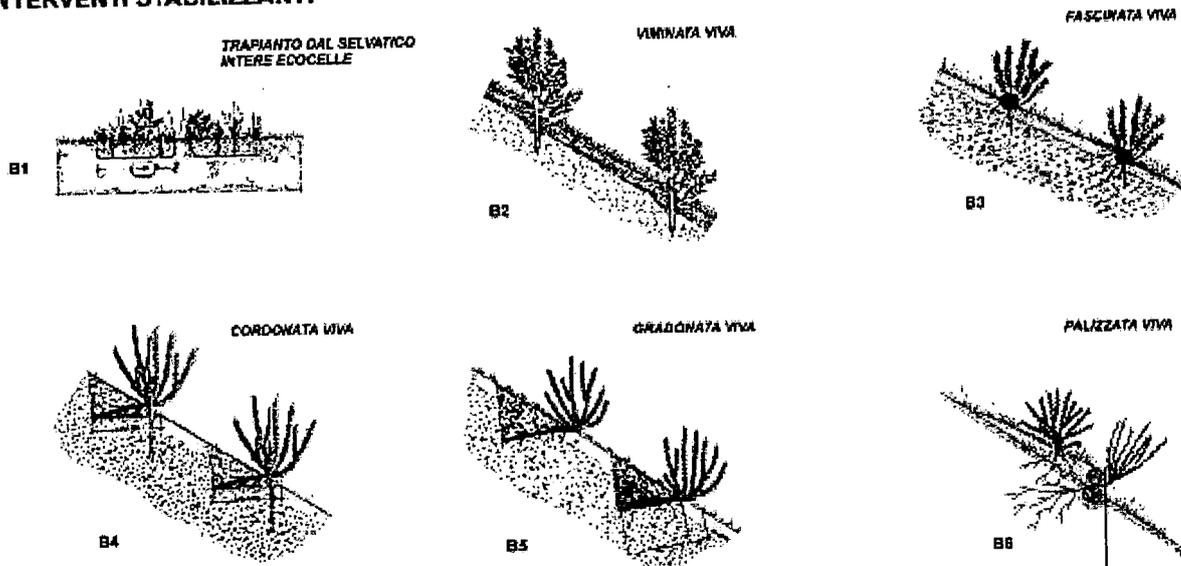
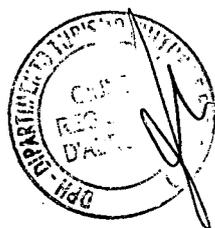


Fig. B.5.2.1.II - Tecniche stabilizzanti (CORNELINI, SAULI - 2005).



C - INTERVENTI COMBINATI DI CONSOLIDAMENTO

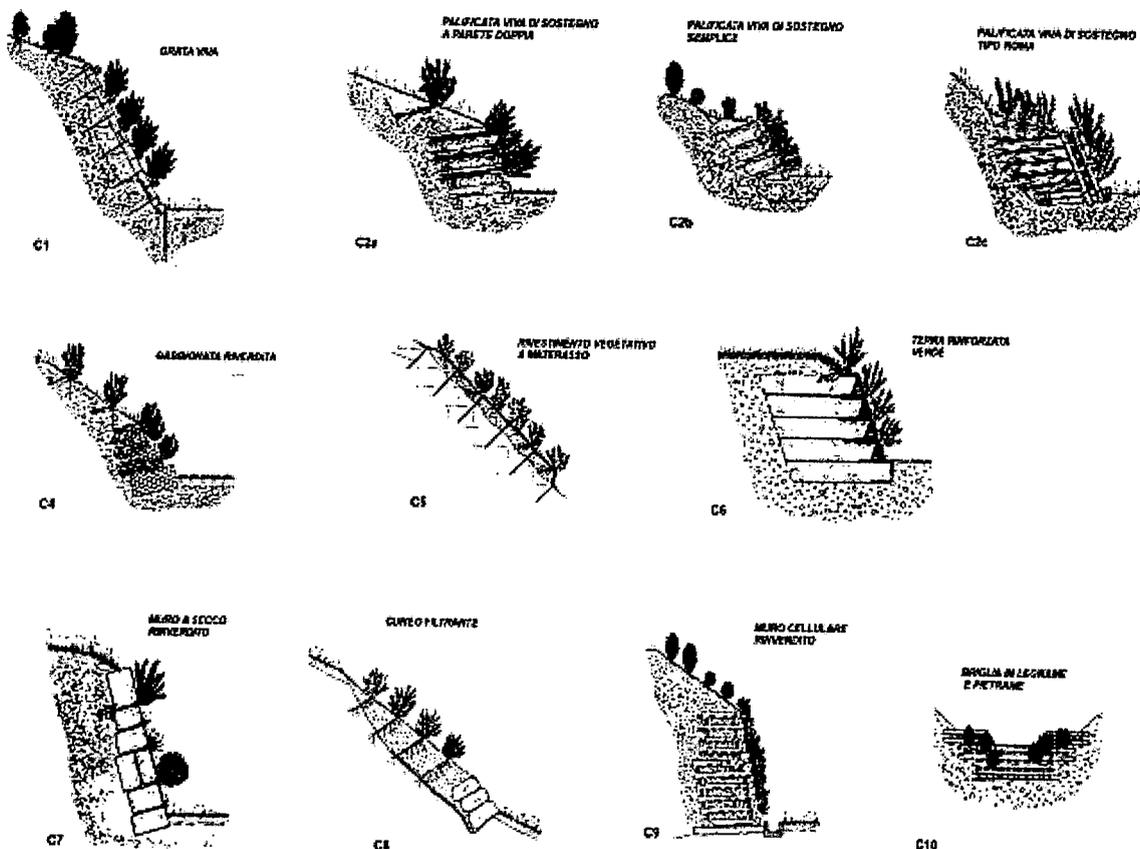
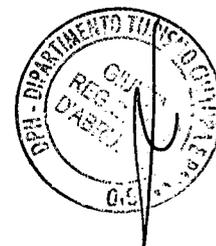


Fig. B.5.2.1.III - Tecniche di consolidamento (CORNELINI, SAULI - 2005).



| MECCANISMO DI DISSESTO | TECNICHE TRADIZIONALI | SISTEMAZIONI CON TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA | ALTRI INTERVENTI |
|---------------------------------|---|---|--|
| Crolli | Chiodature, tiranti, posa di barriere paramassi Gallerie artificiali paramassi | Reti metalliche con geosintetici antiersivi e rivegetazione Rilevati paramassi in terra rinforzata | Disgaggi Riprofilatura pendii |
| Topping (ribaltamenti) | Chiodature Tiranti Muri di sostegno | Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana | Riprofilature in roccia |
| Scivolamenti planari | | Sistemi drenanti con tecniche naturalistiche | Trincee drenanti profonde Monitoraggio inclinometrico e piezometrico |
| Scivolamenti rotazionali | Muri di contenimento anche intirantati, Consolidamenti mediante micropali | Palificate vive di sostegno Scogliere di contenimento rivegetate Posa di antiersivi Ricostruzione pendii in terra rinforzata Rivegetazione della superficie risistemata | Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza |
| Colate | Muri di contenimento | Palificate semplici Viminate Graticciate Cespugliamenti consolidanti Inerbimento della superficie risistemata | |
| Soil slips | | Geosintetici e fibre naturali con funzione antiersiva Palificate semplici Graticciate Viminate Cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata | |
| Movimenti di massa | Briglie in c.a. Briglie filtranti | Briglie in legname e pietrame | Casse di laminazione e aree di invaso rinaturalizzate, Barriere <i>anti-debris</i> in funi metalliche |
| Erosioni in scarpate | Muri di contenimento | Grate vive, Sistemi di palificate vive di sostegno a doppia e singola parete | Pannelli in rete armata a contatto + antiersivi e rivegetazione |
| Erosioni di sponda | Muri spondali Difese in massi cementati Gabbionate | Difese in massi rivegetate, Scogliere in massi vincolati Coperture diffuse Rivegetazioni spondali Palificate vive di sostegno spondali | Ricalibrature degli alvei Allargamento della sezione di deflusso e opere di protezione spondale Rinaturalizzazione e inserimento paesaggistico |

Tab. B.5..2.1.I Correlazione fra dissesti e possibilità d'intervento (da REGIONE PIEMONTE - 2003, come modificato da CORNELINI, SAULI - 2005).



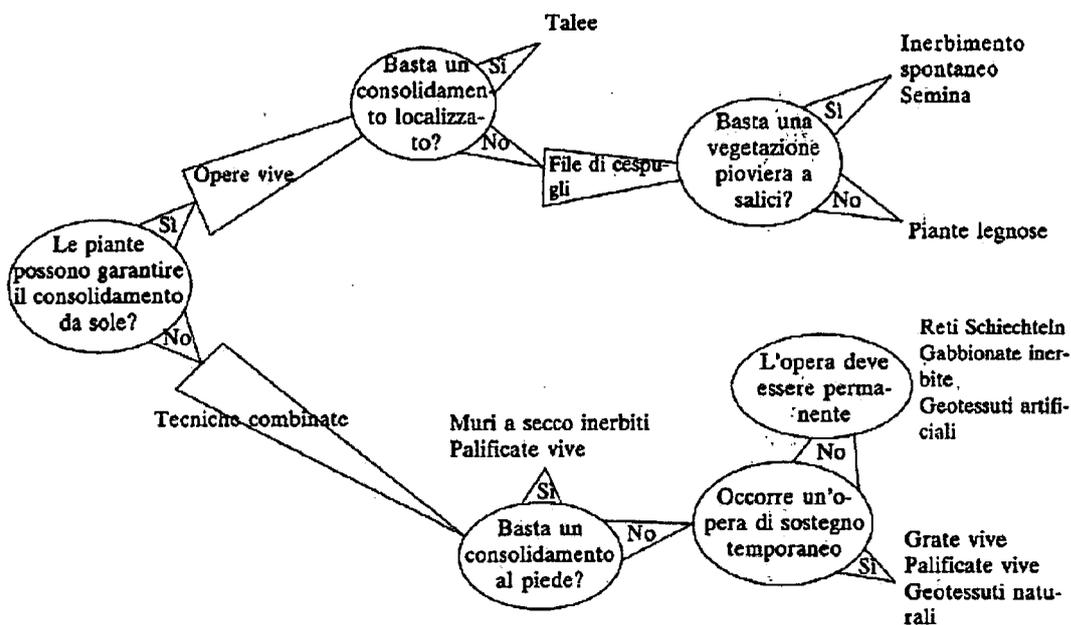
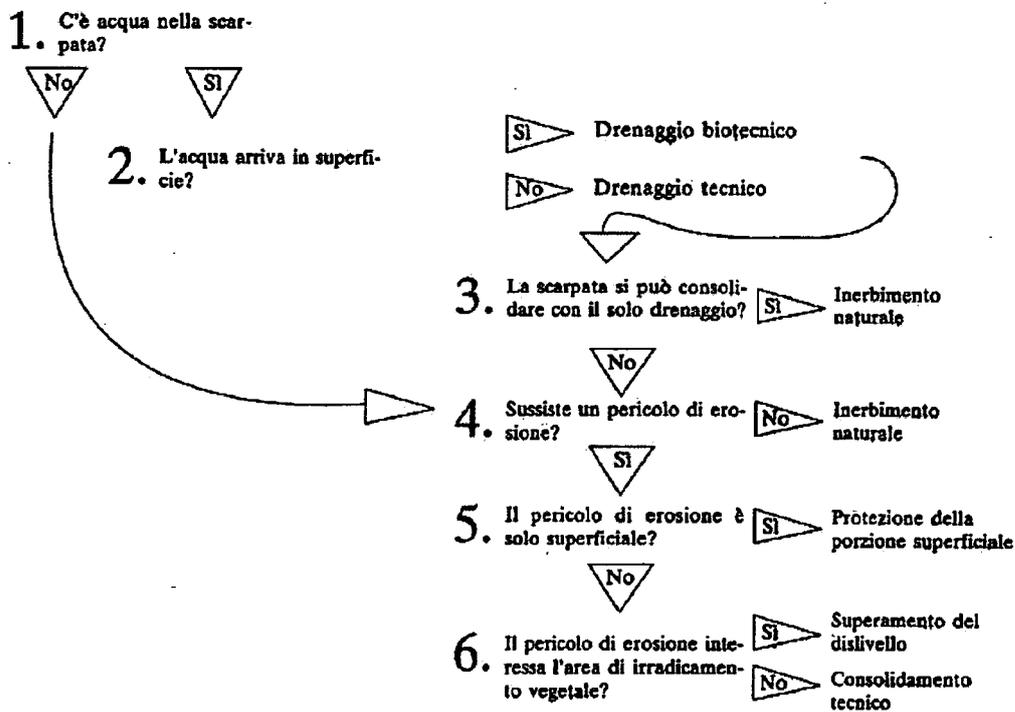
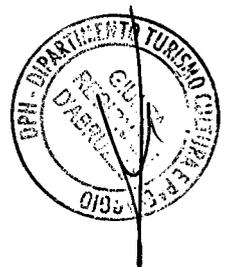


Fig. B.5.2.1.1 – Diagrammi a chiave analitica per la selezione di tecniche di ingegneria naturalistica nella stabilizzazione di scarpate
(da: H. Zeh. - Congresso Internazionale - Lignano Sabbiadoro (UD) 21-23 Maggio 1992).



B.5.2.2 Criteri di selezione delle tecniche nelle sistemazioni idrauliche

Per una corretta progettazione in ambito idraulico è necessario conoscere adeguatamente le caratteristiche di un corso d'acqua, in funzione del sito d'intervento, delle finalità progettuali, delle entità degli interventi e sulla base dei dati disponibili, integrati eventualmente da appositi rilievi sul campo. Occorre quindi analizzare

- caratteristiche *idrologiche* e *idrauliche* (regime portate, scabrezza, velocità di deflusso);
- le caratteristiche *morfologiche* (rilievo delle sezioni, profilo plano-altimetrico);
- le caratteristiche *sedimentologiche* (trasporto solido, granulometria).

Tra questi parametri quelli che influenzano maggiormente la scelta delle tecniche e la collocazione delle opere, sono la velocità di deflusso (legata alla pendenza del fondo) ed il diametro del trasporto solido.

Al di sopra di determinate velocità e diametri del trasporto (quindi nei tratti montani) sono possibili interventi in alveo solo con opere rigide, massi o al massimo gabbionate. Diminuendo i valori di questi parametri aumentano le tipologie tecniche di ingegneria naturalistica impiegabili e diminuisce la loro complessità, in accordo con il *principio del livello minimo di energia*.

La tabella B.5.2.2.1 propone una classificazione esemplificativa (quindi non direttamente utilizzabile per qualsiasi corso d'acqua) delle tecniche di ingegneria naturalistica, utilizzabili in funzione della velocità della corrente, del diametro del trasporto solido e della natura del fondo dell'alveo. Alla figura B.5.2.2.1 sono riportati gli schemi grafici delle principali tipologie tecniche in ambito idraulico

| Velocità della corrente | | >6 m/s | | 3-6 m/s | | <3 m/s | |
|--|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|--|
| Diametro medio trasporto solido | | Tutti i diametri | >20 cm | 5-20 cm | 1-5 cm | <1 cm | |
| Natura del fondo | | Ghiaia, ciottoli, massi | Ghiaia e ciottoli | | Sabbia, ghiaia | Limo, sabbia | |
| Tipologie di interventi | Stabilizzazione dei versanti | A | | | | | |
| | Rivestimento / consolidamento sponde | B | C | D | E | | |
| | Modifiche morfologiche | F | | F | G | | |
| | Rinaturazione | | | Parziale | Buona | Ottimale | |
| | Provvedimenti uso faunistico | L | | M | N | | |

Tab. B.5.2.2.1 - Indicazioni di massima per le scelte tipologiche degli interventi di ingegneria naturalistica nelle sistemazioni idrauliche (Da Chieu - Sauli "Piano stralcio per il bacino del F. To ce" 1993 - modificato).

LEGENDA

- A:** cordonata, cuneo filtrante, fascinata, gabbionata, geocella a nido d'ape, gradonata, grata viva su scarpata, materasso verde, messa a dimora di arbusti, messa a dimora di talee, muro cellulare rinverdito, palificata viva, palizzata, rivestimenti in rete metallica e stuoia, semina, semina potenziata, stuoie su versante, viminata;
- B:** blocchi incatenati, muro a secco rinverdito, muro cellulare rinverdito, opere rigide in cls, gabbionata spondale rinverdita;
- C:** B + Rampa a blocchi;
- D:** gabbionata spondale, materasso rinverdito, muro cellulare rinverdito, palificata viva spondale, pennello vivo;
- E:** biostuoia, biofiltro, blocchi incatenati, copertura diffusa con ramaglia viva, fascinata viva, gabbionata rinverdita, geocomposito in rete met. e geostuoia trid., geostuoia trid. sintetica bitumata, geostuoia trid. sintetica, gradonata viva,



grata viva, graticciata di ramaglia, materasso rinverdito, messa a dimora di talee legnose, muro a secco rinverdito, muro cellulare rinverdito, palificata viva, pennello vivo, piantagione di arbusti, rampa a blocchi, ribalta viva, rulli spondali, semina, idrosemina, semina a spessore, terre rinforzate verdi, trapianto di cespi e rizomi, traversa viva, viminata viva;

F: ampliamento sezione, casse di espansione;

G: F + recupero vecchi meandri;

H: G + impaludamento aree foce;

L: rampa a blocchi;

M: L + scale di risalita.

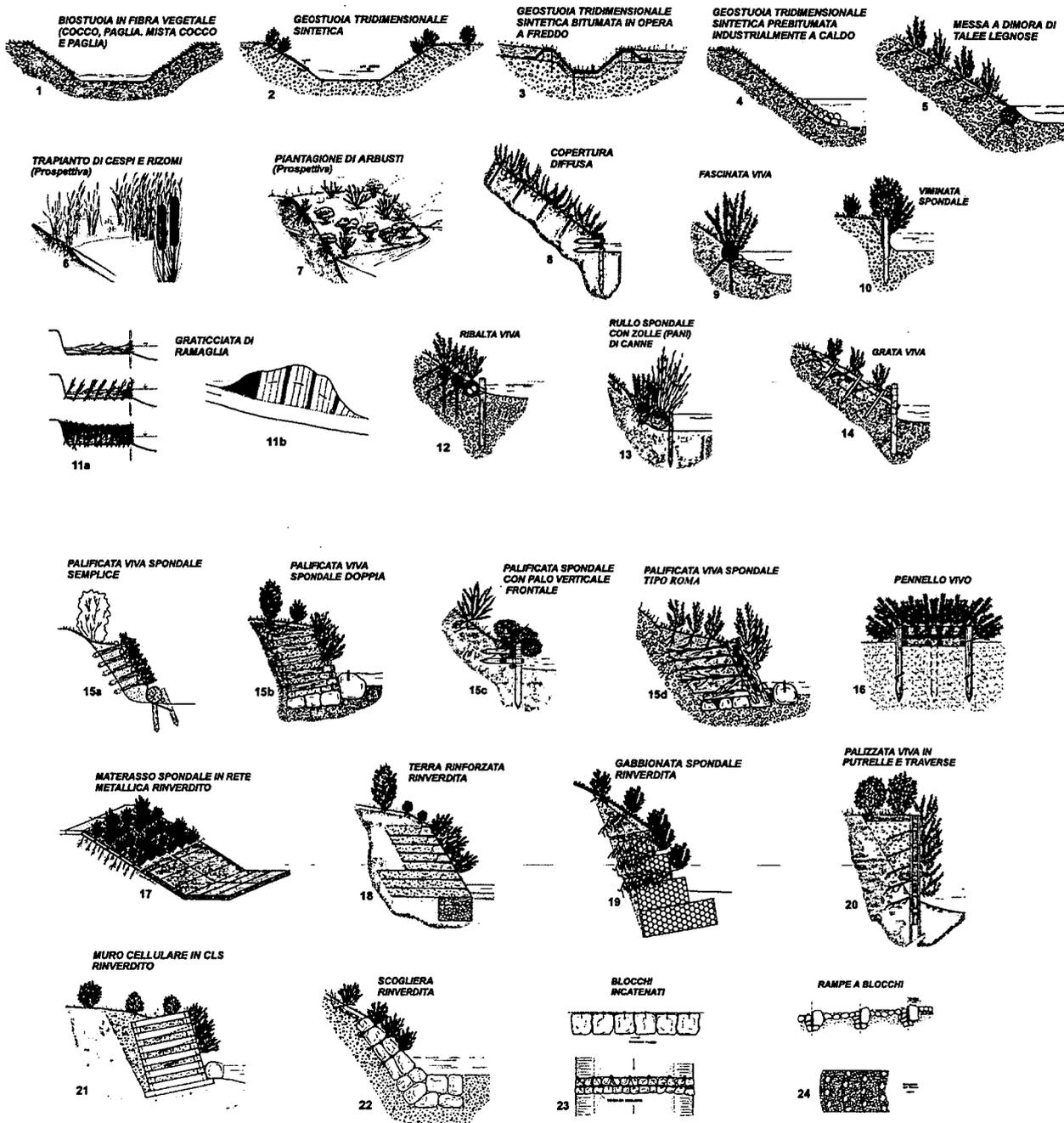
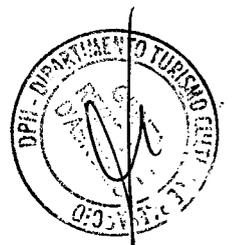


Fig. B.5.2.2.1 – Principali tecniche di ingegneria naturalistica in ambito idraulico (CORNELINI, SAULI - 2005)



Uno dei classici problemi della progettazione di sistemazioni idrauliche riguarda l'interazione tra vegetazione spondale e deflusso idrico.

La vegetazione protegge le sponde dalle sollecitazioni della corrente, ma determina anche una riduzione della sezione idraulica ed un aumento della scabrezza, con possibili ripercussioni negative sul deflusso idrico, soprattutto nelle sezioni medio piccole. In casi critici gli interventi con tecniche vive, sono quindi possibili solo allargando le sezioni d'alveo e ricostituendo spazi golenali, sottratti da attività agricole o industriali, urbanizzazioni ed infrastrutture.

La valutazione della scabrezza in presenza di vegetazione risulta problematica, soprattutto perché bisogna considerare una sezione di deflusso a geometria variabile con presenza di materiali a scabrezza diversa. Nella tabella seguente vengono riportati alcuni valori del coefficiente di scabrezza in corsi d'acqua naturali, ricavabili dalla letteratura tecnico-scientifica.

| TIPO DI ALVEO | COEFFICIENTE DI STRICKLER $ks [m^{1/3} s^{-1}]$ |
|---|---|
| Corsi d'acqua naturali (tirante idrico < 3.5 m) | |
| Corsi d'acqua con ciottoli e ghiaia. | 35 |
| Corsi d'acqua di pianura puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati. | 33 (40+30) |
| Corsi d'acqua con alveo mobile o in roccia con sporgenze. | 30 |
| Corsi d'acqua di pianura puliti, rettilinei, con sassi e sterpaglia. | 29 (33+25) |
| Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene con fondo in ghiaia, ciottoli e massi sparsi. | 25 (33+20) |
| Corsi d'acqua di pianura puliti, ondulati con buche e banchi | 25 (30+22) |
| Corsi d'acqua di pianura puliti, ondulati con buche, banchi, cespugli e pietre. | 21 (29+17) |
| Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene con fondo in ciottoli e massi grossi. | 20 (25+14) |
| Torrenti di montagna con letto irregolare e con grossi massi. | 17+12 |
| Corsi d'acqua di pianura in tratti lenti, con sterpaglia e buche profonde. | 14 (20+12) |
| Corsi d'acqua di pianura in tratti molto erbosi, con grossi arbusti, cespugli e buche profonde. | 10 (13+7) |

Tab. B.5.2.2.II – Coefficiente di scabrezza ks per la formula di Gaucier-Strickler (o Manning, $ks=1/n$) per i corsi d'acqua naturali (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003).

I metodi proposti in letteratura per la valutazione della scabrezza equivalente consistono essenzialmente nel suddividere la sezione trasversale in subsezioni e calcolare la media pesata delle scabrezze di ciascuna di queste.

Tra i metodi più noti ed applicati, si cita quello di Lotter (CHOW – 1959), che prevede la suddivisione della sezione trasversale in N subsezioni, separate da ideali linee verticali prive di attrito. Il coefficiente di Manning della sezione n_c può essere calcolato secondo la formula di Lotter, assumendo la portata totale uguale alla somma delle portate delle subsezioni

$$n_c = \frac{P * R^{5/3}}{\sum_1^n \left(\frac{P_i * R_i^{5/3}}{n_i} \right)}$$

P = perimetro bagnato dell'intera sezione [m]

R = raggio idraulico [m]



Il metodo trascura l'effetto di resistenza al moto delle zone laterali vegetate sulla vena d'acqua centrale, ma evidenze sperimentali hanno mostrato che questa non è trascurabile, con un massimo nell'ideale linea verticale di separazione tra zona vegetata ed alveo centrale. È stato quindi proposto un metodo che quantifica tale effetto come una frazione non trascurabile (circa 1/3) del coefficiente di scabrezza caratteristico della vegetazione (ARMANINI - 1999).

La progettazione di sistemazioni idrauliche mediante tecniche di ingegneria naturalistica necessita anche di una stima di alcuni parametri idrologici-idraulici fondamentali.

- **Portata di piena detta "medio annuale"**, da cui ricavare il corrispondente livello di piena "medio annuale". Al di sotto di questo livello non è possibile l'uso di piante vive, che morirebbero per asfissia a causa di periodi di sommersione eccessivamente lunghi (superiori a ca. 7-10 giorni consecutivi). Tale livello può essere ricavato da analisi di tipo idraulico, ma anche da osservazioni sul campo della distribuzione spaziale della vegetazione igrofila arbustiva in alveo. Tali specie occupano uno spazio ecologico nella sezione dell'alveo subito al disopra del livello di piena medio annuale, non tollerando periodi di sommersione prolungati, ma resistendo alle sommersioni delle piene straordinarie, solitamente di breve durata. La loro presenza, in un determinato punto della sezione idraulica, indica che hanno avuto la possibilità ed il tempo di crescere senza il disturbo delle piene. Sopra questo livello tali specie possono essere utilizzate in interventi con tecniche vive. Si andranno quindi a considerare sezioni significative dei vari tratti di progetto, utilizzando le specie arbustive igrofile come indicatore ecologico del livello di piena medio annuale.
- **Portate di piena di riferimento per le opere di sistemazione idraulica da cui derivano le forze di trascinamento agenti sulle strutture.** Le tensioni tangenziali massime (τ_w) agenti sulle opere possono essere ricavate, secondo il metodo delle tensioni di trascinamento, in funzione della portata di piena, della geometria dell'alveo e del tracciato longitudinale del corso d'acqua, tramite la formula:

$$\tau_w = \gamma R i$$

γ = peso specifico dell'acqua
 R = raggio idraulico
 i = pendenza dell'alveo

Per sezioni con un rapporto tra larghezza e la profondità superiore a 30, vale la formula semplificata:

$$\tau_w = \gamma h i$$

h = altezza del pelo libero

Nei tratti del corso d'acqua in curva occorre tener conto dei coefficienti correttivi per l'aumento delle tensioni tangenziali

I valori delle tensioni tangenziali così ottenuti vanno confrontati, nei vari tratti dell'alveo, con le massime tensioni tangenziali ammissibili (τ_r) dalle opere in progetto verificando sempre che sia:

$$\tau_r > \tau_w = \gamma h i$$

La progettazione in ambito idraulico con tecniche vive deve tener conto di due fattori:

- la resistenza della struttura a fine lavori, con le piante non sviluppate, non comprende il contributo della parte viva; nella verifica della portata transitabile nella sezione è la situazione più favorevole ai fini della scabrezza;
- la resistenza dell'opera con le piante sviluppate nelle loro parti ipogee ed epigee (dopo almeno 2 stagioni vegetative), comprende il contributo della parte viva; tale situazione



è la più sfavorevole nella verifica della portata transitabile nella sezione, a causa dell'aumento della scabrezza per la presenza delle piante.

Si riportano alla tabella seguente valori della massima resistenza al trascinamento di opere di ingegneria naturalistica, ricavabili da letteratura e prove sperimentali.

| TIPOLOGIA INTERVENTO | τ_{MAX} sopportabili dalla struttura a fine lavori (senza contributo piante vive) [N/m ²] | | τ_{MAX} sopportabili dalla struttura con le piante sviluppate dalla terza stagione vegetativa [N/m ²] | |
|--|--|----------------|--|----------|
| | Cotico erboso | 20 (P) | | 25 (P) |
| | | | 30 (M) | |
| Talee | 10 (M P) | | 150 (I) | 60 (M P) |
| | | | 100 (G) | |
| Copertura diffusa | 50 (M) | 150 (P) | 300 (M F P) | |
| Viminate | 10 (M P) | | 20 (P) | 50 (M) |
| Pali con fascine | | | 250 (F) | |
| Gradonata viva | 20 (P) | | 120 (F P) | |
| Fascinate vive | 20 (P) | 70 (G) (morta) | 80 (I) | 100 (G) |
| | | | 60 (P) | |
| Palificata doppia | 500 (P) | | 600 (P) | |
| Gabbionate vive | 340 (M) | | 400 (M) | |
| Materassi rinverditi | 200-320 (M) | | 400 (M) | |
| Scogliera rinverdita con talee di salice | 100 (P) | | 300 (M P) | |

Tab. B.5.2.2.III – Resistenza all'erosione delle principali opere di ingegneria naturalistica in ambito idraulico
 [Legenda sigle. F: FLORINETH 1999; M: FERRAILOLO, VICARI 1996 - Maccaferri; P: PALMERI, CALO' 1996; G: GERTSGRASER 1999; CORNELINI et al. 2001] (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003).

B.5.2.3 I materiali

Le tecniche di ingegneria naturalistica utilizzano diversi materiali, abbinando materiale vegetale vivo con materiali inerti, che possiamo suddividere come segue:

- materiali vegetali vivi;
- materiali organici morti;
- materiali naturali inerti;
- materiali artificiali.

Materiali vegetali vivi

- *Sementi* (miscugli commerciali e fiorume raccolto in natura).
- *Talee*, porzioni di fusto con capacità di propagazione vegetativa, si distinguono generalmente in:
 - talea (getto non ramificato, lung=60-70 cm, diam= 0,5-2 cm);
 - verga (getto flessibile, lung=1,5-2 m, diam= 2-4 cm);
 - astone (getto poco o non ramificato, dritto, lung=max disponibile, diam= 4-5 cm);
 - ramaglia viva (parte terminale dei rami e rami secondari, generalmente derivanti dalle lavorazioni delle tipologie precedenti).



- *Arbusti radicati*, reperibili a radice nuda, in zolla, fitocella o contenitore.
- *Rizomi, cespi, culmi, talee radicali*, parti sotterranee con capacità di propagazione vegetativa.
- *Piote erbose (zolle)*, insieme compatto di radici e fusti erbacei, di origine naturale o prodotti in vivaio.

Materiali organici morti

- *Fibre vegetali*, in ordine di durabilità: fieno, paglia, juta, cocco, legno; utilizzabili sciolte (ad es. per pacciamature) o legate con diversi metodi, queste ultime classificabili in base alla tessitura (FERRARI, 2008 – Vol. 17):
 - biofeltri (fibre sciolte contenute in un leggero involucro – generalmente rete o altro materiale biodegradabile- oppure pressate senza involucro)
 - biostuoie (fibre intrecciate)
 - bioreti (fibre solidali nei punti di contatto, mediante nodi o saldature)
 I vari prodotti disponibili sul mercato si differenziano per caratteristiche quali: durabilità, tessitura, dimensioni dell'intreccio, grammatura (g/m²), realizzazione con uno o più tipi di fibre.
- *Tondame* di castagno, larice o altra resinosa impregnata in pressione, si distinguono:
 - tondame di piccolo diametro (5-12 cm), generalmente usato per opere di stabilizzazione;
 - tondame di medio diametro (12-25 cm), generalmente usato per opere di consolidamento in ambito di versante;
 - tondame di grosso diametro (>25 cm), generalmente necessario in interventi in ambito idraulico.

Materiali naturali inerti

- *Terreni vegetali* (porzione superficiale di suolo naturale).
- *Elementi litoidi* (ghiaia per drenaggi, pietrame per riempimenti, massi per scogliere, ecc.).
- *Terreno di riempimento* (generalmente proveniente dagli scavi e movimenti terra del cantiere stesso).

Materiali artificiali

- *Elementi metallici flessibili di fissaggio* (filo di ferro, punti metallici).
- *Elementi metallici rigidi di fissaggio struttura-substrato* (picchetti in ferro variamente sagomati – dritti, a T, ad U, a L, ecc.).
- *Elementi rigidi di fissaggio definitivo legno-legno* (chiodi in tondino di ferro ad aderenza migliorata, barre filettate con rondelle e dadi, viti speciali per travature in legno parzialmente filettate con testa a stella – queste ultime vanno inserite con appositi trapani, ma permettono tempi di esecuzione più stretti, il loro uso va comunque attentamente valutato).
- *Reti metalliche.*
- *Griglie metalliche.*
- *elementi metallici speciali* (funi di acciaio ed anelli di fissaggio dei massi, ecc.).
- *Fibre sintetiche*, distinguibili in base alla tessitura in: geostuoie, georeti, geocelle.



B.5.2.4 Livelli progettuali

Un progetto di ingegneria naturalistica si distingue per contenuti peculiari presenti già dai primi livelli progettuali.

Progetto preliminare

Definisce le caratteristiche funzionali e qualitative dell'intervento, gli obiettivi da perseguire, le prestazioni da fornire. Oltre agli allegati previsti a norma di legge un progetto preliminare di ingegneria naturalistica deve contenere:

- *un inquadramento generale del territorio e del sito d'intervento*: vincoli, geologia, pedologia, inquadramento climatico, inquadramento fitoclimatico e vegetazionale (vegetazione reale e potenziale), inquadramento idrologico ed idraulico (per interventi in ambito idraulico), note sulla fauna locale (per interventi che possono interagire ed interferire con questa);
- *una proposta d'intervento* che valuti la fattibilità di utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica e ne illustri le caratteristiche;
- *una documentazione fotografica*;
- *dei disegni schematici* delle opere da realizzare, usando per quanto possibile le indicazioni e la nomenclatura, ampiamente codificata dalla manualistica tecnica esistente⁶⁸.

Progetto definitivo

Il progetto definitivo contiene la maggior parte degli allegati necessari alla presentazione completa del progetto, individuando compiutamente i lavori da realizzare sulla scorta delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi e delle indicazioni stabiliti nel progetto preliminare. Oltre agli allegati previsti a norma di legge un progetto definitivo di ingegneria naturalistica contiene:

- *analisi del territorio e del sito d'intervento* sulla scorta dell'inquadramento preliminare, corredata dei necessari diagrammi e cartografie (climogramma, cartografia litologica, geomorfologica, pedologica, della vegetazione);
- *planimetrie e sezioni topografiche di dettaglio dello stato di fatto*
- *documentazione fotografica*;
- *relazione tecnica* (corredata da *relazione idraulica ed idrologica* - per interventi in ambito idraulico - e da un'*analisi delle reti ecologiche* - per interventi di riconnessione);
- *relazione sull'applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica*, che contiene i criteri usati per l'individuazione delle tecniche di ingegneria naturalistica prescelte; sono inoltre riportati i risultati delle analisi del territorio e del sito d'intervento, le caratteristiche dei materiali, gli accorgimenti per l'inserimento dell'opera nel territorio, i benefici attesi, le ricadute esterne, con particolare riferimento all'impatto ambientale;
- *elenco delle specie arbustive e dei miscugli di erbacee* da utilizzare, suddivisi per tipologie vegetazionali, con indicate le percentuali relative delle quantità di ogni specie.
- *calcoli preliminari* per il dimensionamento delle opere, tesi a dimostrarne la stabilità e l'idoneità della tecnica prescelta quale intervento minimo per raggiungere le condizioni di equilibrio e, in generale, le finalità progettuali, nel rispetto del *principio del livello minimo di energia*⁶⁹.
- *planimetrie e sezioni tipo degli interventi*;

⁶⁸ Cfr. par. B.5.1 "Riferimenti normativi e manualistici".

⁶⁹ Cfr. par. B.5.1 "Caratteristiche della progettazione e settori di analisi".



- *quaderno delle opere tipo*;
- *analisi prezzi* delle opere da realizzare; il prezzario ufficiale della Regione Abruzzo non contiene quasi nessuna tecnica di ingegneria naturalistica, per effettuare analisi prezzi si può far riferimento alle *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica* (2006) del Ministero dell'Ambiente e Ministero dell'Economia;

Progetto esecutivo

Il progetto esecutivo contiene tutte le informazioni necessarie all'appalto ed alla corretta esecuzione delle opere e consente di identificare ogni elemento in forma, tipologia, qualità dimensione e prezzo. Oltre agli allegati previsti a norma di legge un progetto esecutivo di ingegneria naturalistica contiene:

- *sezioni litostratigrafiche* realizzate eventualmente con le dovute *indagini geognostiche* (soprattutto per la valutazione delle fondazioni delle opere);
- *calcoli esecutivi* delle opere previste⁷⁰, che considerino le seguenti condizioni
 - a breve termine la stabilità dell'opera è assicurata solo dal materiale inerte;
 - a medio-lungo termine la funzione di stabilità è sempre più svolta in via prioritaria o esclusive dalle piante messe a dimora;
- *schemi grafici esecutivi* con particolari costruttivi e con indicazioni precise sui materiali da impiegare e sulle dimensioni, incluso il materiale vegetale messo a dimora;
- *capitolati speciali d'appalto* che contengano precise descrizioni delle opere di ingegneria naturalistica da realizzare (si può far riferimento alle *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica*);
- *Piano di manutenzione*, con particolare riguardo alla parte vegetale (irrigazioni periodiche e di soccorso, risarcimento delle fallanze, sfalci e potature, ecc.).

⁷⁰ Le opere di consolidamento di ingegneria naturalistica, sono a tutti gli effetti delle opere di sostegno a gravità, da calcolare e verificare tramite i metodi ingegneristici previsti a norma di legge applicati alla stabilità dei muri di sostegno e delle terre.



B.5.2.5 Valutazione di un progetto di ingegneria naturalistica

La valutazione dei progetti di ingegneria naturalistica deve essere effettuata dal personale incaricato a norma di legge affiancato, per quanto possibile, da professionisti esperti del campo. Fermo restando l'importanza dell'esperienza maturata relativamente all'applicazione di queste tecniche, può risultare utile la seguente lista di controllo a forma di questionario estratta dal *Regolamento per l'attuazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica nel territorio della Regione Campania* (2002).

| SCHEDA DI VALUTAZIONE DI UN PROGETTO DI INGEGNERIA NATURALISTICA |
|--|
| Al progetto è allegata la "Relazione sull'applicabilità delle tecniche di I.N."? |
| La relazione è stata redatta da un esperto in tecniche di I.N.? |
| Nella relazione sono chiaramente indicate le finalità progettuali? |
| Sono presenti gli studi preliminari a supporto della progettazione di tutte le componenti ambientali? |
| Lo studio idrologico ha riguardato la tipologia di rete idrografica? |
| Lo studio idrologico ha indicato chiaramente il periodo di ritorno e la relativa portata di piena? |
| Lo studio idraulico ha indicato chiaramente i seguenti parametri? <ul style="list-style-type: none">• velocità della corrente;• verifica delle sezioni;• pendenza d'equilibrio;• studio del trasporto solido;• effetto della vegetazione sulla corrente. |
| Il progetto ha tenuto conto dei risultati dello studio idrologico? |
| Il progetto ha tenuto conto dei risultati dello studio idraulico? |
| Lo studio geologico e geotecnico ha valutato chiaramente i fattori sottoelencati e, per quelli ove è possibile, fornito precisi parametri idrogeologici, geologici, pedologici, geomorfologici, litologici, di qualità, geotecnici, stratigrafici, tettonici, sismici e vulcanologici? |
| Sono state realizzate indagini geognostiche in sito? |
| Le indagini geognostiche sono state realizzate, ivi compresi i risultati, secondo le Norme di riferimento? |
| Il progetto ha tenuto conto dei risultati dello studio geologico e geo-tecnico? |
| Lo studio della flora e della vegetazione ha svolto un'ampia descrizione della situazione ante operam? |
| Sono state indicate le piante da utilizzare nell'intervento? |
| Il progetto ha tenuto conto dei risultati dello studio della flora e della vegetazione? |
| Nel progetto le piante da utilizzare nell'intervento sono autoctone? |
| Nel progetto le piante da utilizzare nell'intervento hanno funzione consolidante? |
| Nel progetto le piante da utilizzare nell'intervento hanno soltanto funzione estetica o di mascheramento? |
| Il progetto indica le modalità di impianto delle piante o delle talee? |
| Lo studio della fauna selvatica ha svolto un'ampia descrizione della situazione ante operam ed ha fornito indicazioni alla progettazione? |
| La tecnica o le tecniche di I.N. scelte dal progetto corrispondono a quelle descritte nelle "Linee guida agli interventi di I.N." del Ministero dell'Ambiente? |
| Il progetto dà indicazioni sul periodo dell'anno in cui deve essere eseguito l'intervento? |
| Il progetto fornisce indicazioni soddisfacenti sulla manutenzione? |



| |
|--|
| Nel dimensionamento dell'intervento è rispettato il principio del livello minimo di energia? |
| È presente il piano di sicurezza e di coordinamento? |
| Il progetto presenta tutti gli elaborati previsti dalla legislazione vigente? |
| Il progetto delle tecniche è completo del dimensionamento e dei calcoli di stabilità nel caso trattasi di opere di contenimento del terreno? |
| Il progetto è svolto a scala di bacino, con previsione di interventi estensivi? <ul style="list-style-type: none"> • con tecniche di I.N.? (esempi: semine/ piantagioni/viminate/ gradonate/ fascinate/ cordonate vive/ muretti a secco rinverditi/ protezioni di versanti con geosintetici o biostuoie) • con altre tecniche? |
| Il progetto prevede la realizzazione di drenaggi? <ul style="list-style-type: none"> • con tecniche di I.N.? (esempi: fossi di guardia protetti da semine/ fascinate drenanti/ canalette drenanti in legname, legno e pietrame o con l'utilizzo di geosintetici/ cunei drenanti) • con altre tecniche? |
| Il progetto prevede l'uso di interventi intensivi? <ul style="list-style-type: none"> • con tecniche di I.N.? (esempi: ribalta viva/ grata viva/ palificata con graticcio/ palificate vive/ terre rinforzate/ pennelli vivi/ gabbionate rinverdite) • con altre tecniche? |
| Il progetto prevede l'uso di opere di contenimento in corrispondenza di infrastrutture lineari e/o opere d'arte? <ul style="list-style-type: none"> • con tecniche di I.N.? (esempi: palificate vive/terre rinforzate/gabbionate rinverdite/ muri cellulari rinverditi) • con altre tecniche? |

TAB. B.5.5.I - Scheda di valutazione di un progetto di ingegneria naturalistica (REGIONE CAMPANIA – 2002).

B.5.2.6 Frequenti errori esecutivi⁷¹

La corretta esecuzione di un intervento di ingegneria naturalistica prevede alcune regole semplici, ma imprescindibili per la sua buona riuscita. La disciplina ha conosciuto negli ultimi anni un rapido sviluppo e diffusione, ma molte opere realizzate presentano errori progettuali ed esecutivi, determinanti per la loro efficacia ed efficienza. In questo paragrafo vengono brevemente esposti i principali *errori esecutivi*⁷², riscontrabili in opere realizzate sul territorio italiano. Di fronte ad alcuni tipi di errori, gli interventi non possono essere classificati di ingegneria naturalistica, risultando privi dei requisiti di base: piante totalmente assenti, secche o di specie non idonee, strutture costruite senza seguire metodologie sperimentate che ne garantiscono la stabilità e la funzione; materiali utilizzati in modo improprio o scorretto, ecc.

Errori derivanti dalla non corretta gestione del sito d'intervento

Per una corretta evoluzione morfologica e quindi biologica del sito d'intervento, è necessario eseguire alcune lavorazioni all'inizio, durante ed alla fine dei lavori.

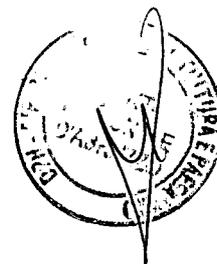
- *Scoronamento sommitale*

La corona sommitale della nicchia di distacco di una frana è una zona instabile, da asportare con scavo e abbattimento della pendenza, impedendo la continua erosione, l'arretramento e l'ampliamento del dissesto, che mettono a rischio anche gli interventi a valle.

- *Adeguamento delle superfici e delle inclinazioni*

⁷¹ Per una ampia trattazione cfr. CORNELINI, SAULI – 2005, cap. 6; FERRARI – 2006, 2008.

⁷² Si presuppone quindi che la fase progettuale sia stata correttamente eseguita.



La superficie d'intervento va regolarizzata il più possibile livellando il terreno, asportando masse litoidi e terrose sporgenti e pericolanti (disgaggio e bonifica), riprofilando i versanti con inclinazioni adeguate. La mancata esecuzione di questa fase rischia di vanificare gli interventi, mantenendo o creando condizioni favorevoli al dissesto.

- *Raccordo tra opera e substrato*

I raccordi assicurano la continuità delle opere con il substrato al contorno. Possono essere realizzati proseguendo le estremità della struttura per una certa profondità nel versante o nella sponda, anche utilizzando elementi naturali in loco. L'assenza di raccordi può determinare infiltrazioni ai margini delle opere, che possono evolvere sino al loro svuotamento e smembramento.

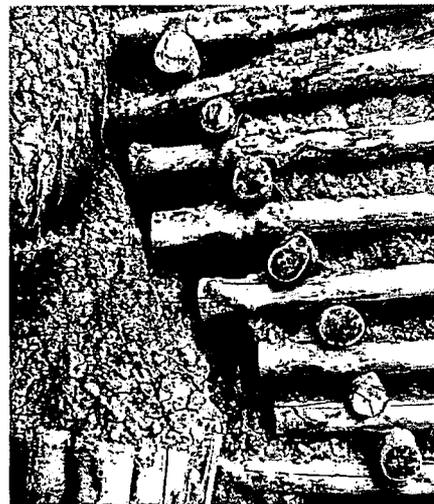


Foto B.5.2.6.1 – Mancato raccordo dell'opera al substrato con effetti di svuotamento (C. Crocetti).

- *Realizzazione di drenaggi adeguati*

La mancata intercettazione ed allontanamento delle acque meteoriche può determinare la permanenza di condizioni di rischio per il sito d'intervento e compromettere stabilità e funzionalità delle opere realizzate. Adeguati drenaggi superficiali e, se necessari, anche profondi, garantiscono stabilità ai terreni ed alle opere. Questi possono essere realizzati con sistemi tradizionali o, quando possibile, mediante tecniche di ingegneria naturalistica (*drenaggi biotecnici*).

- *Manutenzione*

È fondamentale prevedere adeguate manutenzioni delle opere e degli interventi. Particolare cura deve essere posta alla componente vegetale viva, con operazioni di: irrigazione, sfalci, eliminazione di specie infestanti, potatura, sfooltimento, risarcimento delle fallanze, riporti di terreno e ripristini delle parti strutturali. La manutenzione viene raramente contemplata in fase progettuale, ma anche quando avviene viene raramente eseguita, oppure realizzata in modo insufficiente, superficiale o errato. Si assiste spesso a manutenzioni delle infrastrutture, ma non degli interventi di ingegneria naturalistica a loro protezione, che a volte possono essere addirittura penalizzati. È questo il caso di diserbanti chimici generalizzati, potature fuori stagione e/o con mezzi non idonei che danneggiano irreversibilmente le piante.

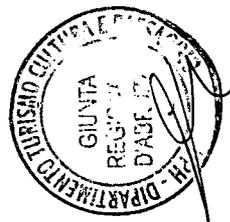
Errori derivanti dal non corretto utilizzo di materiale vegetale



Nell'ingegneria naturalistica il materiale vegetale vivo ha funzioni strutturali. Se le piante sono assenti o hanno funzioni di solo mascheramento, l'opera non è ascrivibile a questa disciplina. Il mancato o errato uso delle piante è un errore frequente, probabilmente a causa di una scarsa conoscenza delle esigenze delle specie vegetali, scarsa dimestichezza nel loro impiego e sottostima delle loro funzioni, che sono invece fondamentali.

- *Semi e miscele di sementi*

Gli errori più frequenti riguardano soprattutto: impiego in stagioni o periodi non idonei, uso di specie non autoctone o di provenienza diversa dal luogo di impiego o comunque specie non



idonee al sito d'intervento; quantità insufficienti rispetto alla superficie d'intervento e miscele scadute. Nell'idrosemina, l'impiego di apparecchiature non specifiche e la preparazione delle miscele non in loco, determinano stratificazione gravitativa dei semi nella cisterna dell'idroseminatrice.

- *Specie con capacità di propagazione vegetativa*

L'errore più banale e grave è l'uso di specie senza capacità di propagazione vegetativa. Le talee sono molto sensibili nella fase di manipolazione (prelievo, stoccaggio, messa a dimora). Insuccessi possono derivare da: prelievi con tagli non netti, prelievi al di fuori del periodo di riposo vegetativo, mancato rispetto della polarità (verso di crescita) nella posa, dimensioni (diametro, lunghezza) non idonee, inserimenti traumatici, porzioni fuori terra troppo sporgenti, stress durante lo stoccaggio (disidratazione, gelo), uso di specie non autoctone o comunque diverse da quelle previste in progetto.

- *Specie arbustive ed arboree*

Gli errori principali riguardano: scelta di specie non autoctone, non idonee alla stazione, non rispondenti alle finalità progettuali, stress derivanti dalle fasi di manipolazione, mancanza di manutenzione (irrigazione, protezione anti-fauna, ecc.).

Errori derivanti da errato utilizzo di materiale organico morto

Il materiale organico morto viene utilizzato con finalità protettive (es. biostuoie) o strutturali (es. legname).

- *Biostuoie, biofeltri, bioreti*

I prodotti disponibili sul mercato sono svariati, differenziandosi per impieghi diversi a seconda del tipo di dissesto e dell'obiettivo progettuale. La durabilità, la tessitura, le dimensioni della maglia e la grammatura dei diversi prodotti disponibili influenzano l'azione protettiva e la possibilità di sviluppo delle piante. Possibili errori derivano quindi dall'uso di prodotti non adatti allo specifico intervento. Le innumerevoli classificazioni non standardizzate possono inoltre generare equivoci tra le indicazioni progettuali e l'esecuzione dell'opera. I materiali vanno posati ben aderenti al terreno e la mancanza di un fissaggio idoneo al substrato regolarizzato e dei teli tra loro, può causare il formarsi di vuoti ed impedire l'attecchimento delle piante.

- *Legname*

L'uso di tondame di specie non adatte (ad es. legni "teneri" o "dolci" come abete e pioppo) può causare problemi di stabilità e durabilità. L'utilizzo di specie teoricamente adatte, quali la robinia, può essere problematico, perché il legno appena tagliato e non stagionato può emettere polloni. L'uso di legname non scortecciato, causa una marcescenza più rapida del legno, per i parassiti che si possono sviluppare sotto la corteccia. Altri errori riguardano le dimensioni (diametro, lunghezza) degli elementi e le modalità di assemblaggio non corrispondenti alle indicazioni fornite da manuali e linee guida.

Errori derivanti da errato utilizzo di materiale inerte

- *Terreno vegetale*

Pur essendo una componente importante, costo elevato e difficoltà di posa ne limitano l'utilizzo. Ghiaioni, detriti di falda o riporti sterili semplicemente ricoperti con biostuoie sono da considerare interventi errati. Nelle terre rinforzate la posa di terreno vegetale sul paramento esterno (prima del materiale di riempimento vero e proprio), è determinante. La mancanza di terreno vegetale penalizzano la componente vegetale.



- *Materiale di riempimento*

Vanno evitati materiali con scadenti caratteristiche geotecniche ed è molto importante la fase di compattazione del terreno di riempimento.

- *Massi*

Usati soprattutto nelle sistemazioni spondali (sciolti o legati da funi di acciaio). I principali errori nel loro impiego sono: dimensioni inadeguate (non adatte a contrastare le forze agenti), metodi di legatura (diametro della fune, tipo e dimensione dei chiodi ad occhiello, disposizione non lineare della fune), e posa degli elementi senza affogamento di parte masso in alveo). Una struttura così realizzata può essere disarticolata e scalzata dalla corrente.

Errori derivanti da scorretto utilizzo di materiali artificiali

- *Georeti, geostuoie*

Valgono le considerazioni generali esposte per gli analoghi materiali biodegradabili. Una sostanziale differenza è nella loro natura sintetica, che li rende molto durevoli. In caso di stentato o mancato attecchimento delle piante risultano nettamente visibili anche da lontano, con un notevole impatto paesaggistico, anche con prodotti colorati in verde, che sarà comunque diverso da quello naturale delle piante.

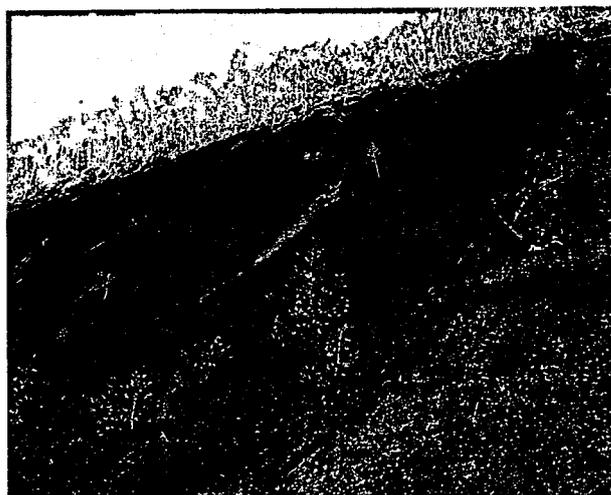


Foto B.5.2.6.III – Mancata aderenza della rete al substrato e assenza di sovrapposizione dei teli affiancati, con formazione di vuoti. Scarsissimo attecchimento delle piante anche a causa della mancanza di terreno vegetale (C. Crocetti).

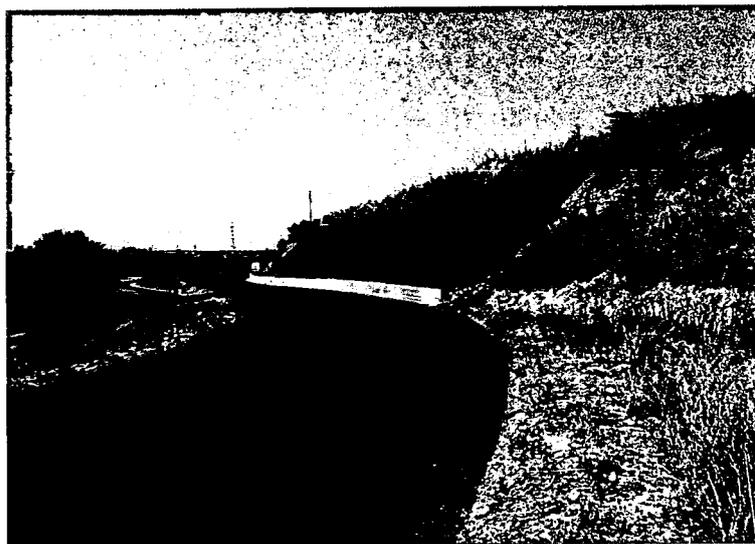


Foto B.5.2.6.IV – Impatto paesaggistico a causa dell'assenza di vegetazione (C. Crocetti).



Errori generali di realizzazione

- *Mancato sincronismo costruttivo tra struttura e componente vegetale viva*

L'inserimento o la posa di arbusti e talee, va eseguito contestualmente alla realizzazione della struttura. Costruire la struttura e riempirla, rimandando l'inserimento delle piante in un secondo momento è un grave errore tecnico ed una modalità antieconomica.

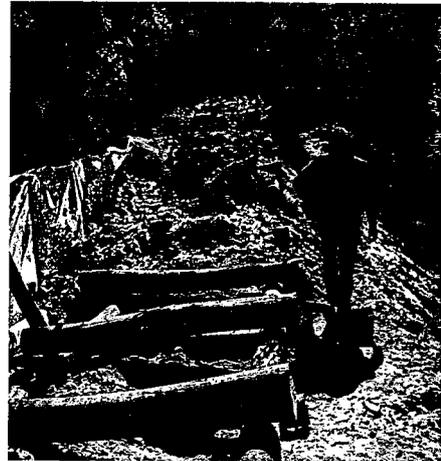


Foto B.5.2.6.V – Mancato sincronismo tra costruzione della struttura e posa del materiale vegetale (C. Crocetti).

- *Variazioni costruttive*

Le dimensioni e le proporzioni relative di alcune tipologie (grata viva, palificata viva, etc.) hanno limiti abbastanza definiti: altezza, profondità, inclinazione non devono mai superare i valori prescritti da manuali e linee guida. Un'opera realizzata con valori al di fuori di questi può avere seri problemi di stabilità e funzionalità, mentre la capacità di attecchimento e sviluppo delle piante può essere compromessa.

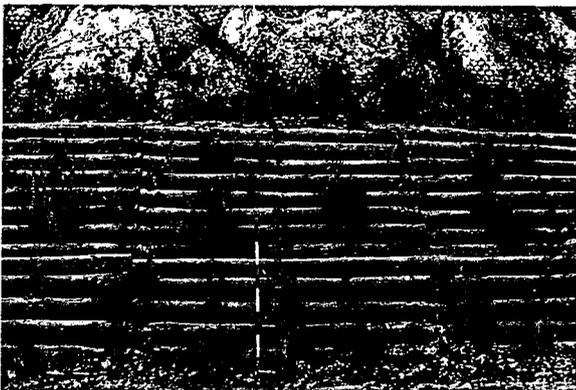


Foto B.5.2.6.VI – Struttura senza collegamenti degli elementi con i correnti. L'opera risulta composta da moduli indipendenti che non collaborano tra loro alla stabilità del versante (C. Crocetti).

Foto B.5.2.6.VII – Eccessiva pendenza del paramento esterno e posizione allineata dei tronchi trasversi, piuttosto che sfalzata, a discapito della solidità (C. Crocetti).



- *Posizionamento delle opere*

Se l'ubicazione delle opere prevista in progetto, valutata in base alle caratteristiche fisiche ed ecologiche del sito, non è rispettata, si possono verificare insuccessi. Negli ambiti idraulici dotati di dinamismo dei livelli idrici, è indispensabile determinarne quello medio, in quanto materiali vegetali vivi non sopravvivono a prolungate immersioni. Viene così a mancare il contributo consolidante delle piante nel tempo.

- *Regolarità e geometrismo*

Disposizioni regolari e geometriche della parte viva nelle opere e di alcune strutture minori non rispondono a criteri naturalistici. Bisogna quindi preferire disposizioni casuali e



disordinate ad imitazione delle situazioni naturali. Si tratta di un errore meno grave che non comporta pericoli alle strutture, non limita l'azione consolidante delle piante né compromette il loro sviluppo, ma diminuisce la riuscita estetico-paesaggistica dell'intervento.

B.5.3 Progetto botanico

In un intervento di ingegneria naturalistica, le funzioni antierosive e di consolidamento sono svolte in maniera gradualmente preponderante dalle piante. "È quindi essenziale conoscere", attraverso specifiche analisi stazionali, il corteggio floristico e "le capacità e modalità di colonizzazione degli ambienti degradati" delle diverse specie (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003). Il *Progetto Botanico*⁷³ richiede un accurato studio della stazione di intervento per individuare la **lista delle specie**, le **tipologie vegetazionali di progetto** (prato, cespuglieto, bosco o una loro combinazione) e la **serie dinamica della vegetazione potenziale**, premesse essenziali per il successo di sistemazioni mediante tecniche di ingegneria naturalistica.

Dalla lista delle specie autoctone e coerenti con l'ambiente ecologico della stazione d'intervento, vanno selezionate quelle con **proprietà biotecniche** adatte ad instaurare tipologie vegetazionali, con funzioni di difesa del suolo, coerenti con la stazione d'intervento e con gli stadi della serie dinamica vegetazionale potenziale autoctona.

Per caratteristiche biotecniche delle piante si intendono le proprietà tecniche utili agli scopi di difesa del suolo⁷⁴ e le proprietà biologiche che le rendono adatte ad un loro impiego negli interventi di sistemazione idrogeologica.

| PROPRIETÀ BIOTECNICHE DELLE SPECIE VEGETALI | |
|---|---|
| Proprietà biologiche | Proprietà tecniche |
| Capacità di riproduzione per via vegetativa, ovvero per talea | Miglioramento dei parametri geotecnici del terreno |
| Resistenza ad inghiainamento, ovvero capacità di emettere radici avventizie dal fusto interrato | Resistenza degli apparati radicali (agli sforzi di taglio e di trazione, resistenza all'estirpazione) |
| Resistenza alla sommersione per periodi prolungati | Capacità di consolidare il terreno |
| | Capacità di penetrazione dell'apparato radicale |
| | Riduzione della suscettività all'erosione |
| | Riduzione degli effetti erosivi dell'acqua di scorrimento superficiale |
| | Regolazione della circolazione idrica |

Tab B.5.3.1. Proprietà biotecniche delle specie vegetali (rielaborazione da SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003).

La scelta delle specie va quindi effettuata tra quelle che rispondono alle seguenti caratteristiche (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003):

- coerenza floristica e vegetazionale;

⁷³ SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. (2003).

⁷⁴ Cfr. par. B.2 "Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo".



- compatibilità ecologica con le condizioni stazionali del sito di intervento;
- appartenenti allo stadio dinamico della serie della vegetazione potenziale più evoluto possibile, secondo le condizioni ecologiche del sito d'intervento;
- con determinate caratteristiche biotecniche.

Tra le specie legnose gli arbusti pionieri (autoctoni) sono le sole specie adatte per interventi di stabilizzazione o consolidamento. Gli arbusti possiedono apparati radicali in grado di consolidare spessori fino a 0,6-1,2 metri di substrato, migliorando i parametri geotecnici di resistenza meccanica, ma senza sovraccaricare il terreno, come può accadere con la messa a dimora di specie arboree (soprattutto in condizioni stazionali difficili, come versanti o sponde instabili con suoli poco evoluti).

All'azione puntuale o lineare degli arbusti, va comunque abbinata un'azione antierosiva areale delle specie erbacee, che agiscono nei primi decimetri del terreno. L'effetto combinato del prato e del cespuglieto comporta un miglioramento del bilancio idrico del suolo ed una generale azione preventiva dei fenomeni erosivi e franosi.

L'**analisi botanica stazionale** può essere condotta in due modi.

- **Analisi floristica.** Più semplice e veloce, è adatta ad interventi di limitata estensione ed in condizioni ecologiche omogenee della stazione d'intervento. Si basa sulla determinazione del corteggio floristico, riconoscendone la loro autoecologia (igrofile, xeriche, eliofile, ecc.), la forma biologica (terofite, idrofite, ecc.) e la corologia (endemiche, mediterranee, cosmopolite, ecc.)
- **Analisi fitosociologica.** Usata insieme alla precedente in situazioni più estese ed articolate, fornisce informazioni più complete sulla copertura vegetale.

Le **tipologie degli interventi** di ingegneria naturalistica vanno intese sia come "consorzi vegetazionali" che come tecniche costruttive che svolgano funzioni "antierosive e di consolidamento" ed aumentino la "qualità ambientale e paesaggistica dell'area stessa" (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003).

La conoscenza della vegetazione *potenziale*, non solo di quella *reale*, e quindi "la ricostruzione della serie dinamica di vegetazione sono elementi fondamentali per la progettazione" (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003), in quanto la vegetazione è un sistema dinamico e variabile nel tempo. Dinamicità che si può osservare nella capacità di un bosco di ricolonizzare un incolto, procedendo dalle forme erbacee più semplici verso strutture legnose più complesse. "Attraverso la conoscenza dei contatti seriali e catenali tra le varie tipologie vegetazionali, è possibile individuare lo stadio dinamico di riferimento per il progetto" (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003) ed indirizzare la sua evoluzione attraverso opportuni interventi. Le comunità vegetali non sempre evolvono allo stesso modo e le esperienze dell'uso di tecniche di ingegneria naturalistica riguardano soprattutto ambienti alpini, con situazioni ecologiche più favorevoli all'attecchimento delle piante di quelli mediterranei.

I problemi connessi con l'uso delle piante in ambiente mediterraneo sono (SAULI, CORNELINI, PRETI - 2003):

- clima caratterizzato da un periodo estivo xerico con stress idrico;
- periodo di riposo vegetativo più breve delle regioni dell'arco alpino, quindi un periodo ottimale più breve per l'utilizzo delle piante con capacità di riproduzione vegetativa (talee);
- difficoltà nel reperire talee e materiale vivaistico autoctono in quantità e qualità adeguate.



Riassumendo la metodologia per l'individuazione ed il reperimento delle specie da impiegare in un intervento di ingegneria naturalistica è la seguente (SAULI, CORNELINI, PRETI – 2003):

- Analisi floristica e vegetazionale con ricostruzione della serie dinamica della vegetazione;
- Individuazione dello stadio vegetazionale di progetto compatibile con le caratteristiche ecologiche della stazione;
- Selezione delle specie in base a forme biologiche, tipi corologici e caratteristiche biotecniche
- Confronto con specie disponibili sul mercato
- Reperimento delle specie nuove tramite prelievo dal selvatico (talee, cespi, rizomi, semi, fiorume) e produzione vivaistica ex novo

In ambiente mediterraneo è necessaria una maggiore accuratezza nella scelta delle specie vegetali, in quanto le specie autoctone di comune impiego e maggiormente disponibili nei vivai, non sempre garantiscono l'attecchimento nei difficili ambienti mediterranei.

Le specie del genere *Salix* sono le più utilizzate in ambiente fluviale ed alpino. L'impiego di salici (specie meso-igrofila) è compatibile con le caratteristiche ecologiche degli ambienti umidi mediterranei, ma va valutato con cura in altre situazioni ambientali, dove può risultare inadatto per limiti ecologici e climatici o per incoerenza floristica.

Emerge quindi l'esigenza di reperimento di specie termo-xerofile mediterranee, in particolare in aree protette. Esigenza che attualmente il mercato floristico non è sempre in grado di soddisfare.

Tra le specie con capacità di propagazione per via vegetativa (talee) utilizzabili in ambiente mediterraneo quelle più usate sono quelle appartenenti al genere *Tamarix*. Le sperimentazioni effettuate nell'area della Riserva in occasione di cantieri didattici, hanno permesso di verificare la possibilità di un largo utilizzo di questa pianta nell'area. Le tamerici sono molto diffuse nell'area, vi è quindi la possibilità di reperire materiale vegetale autoctono a basso costo.

In ambienti mediterranei un importante gruppo di specie utilizzabili è quello delle piante dotate di capacità biotecnica di emissione di radici avventizie dal fusto interrato (*resistenza ad inghiainamento*), in maniera assimilabile alle talee. Tale soluzione può risultare molto utile in ambienti mediterranei, perché le piante sono potenzialmente più capaci di affrontare i pesanti stress idrici e termici, grazie all'apparato radicale che già possiedono. Tra le specie resistenti ad inghiainamento si possono citare il *Viburnum tinus*, l'*Euonymus europaeus*, il *Cornus sanguinea*.

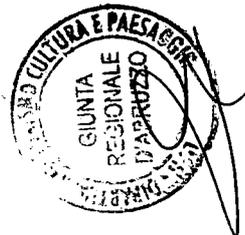
B.6 Aree percorse da incendio

Gli incendi costituiscono un grave problema ambientale, non solo per la distruzione della vegetazione, ma anche per il dissesto geo-idrologico che comportano.

La vegetazione di un area incendiata possiede una capacità di resilienza⁷⁵ che dipende dalle forme biologiche presenti e dal tipo di riproduzione adottata dalle piante a seguito del passaggio del fuoco.

Nel Mediterraneo, dove gli incendi fanno parte dell'ecosistema naturale, la selezione ha portato all'affermazione di specie sempreverdi della macchia mediterranea e della lecceta,

⁷⁵ . Ovvero la capacità di tornare alle condizioni precedenti all'incendio.



con capacità di *riproduzione vegetativa*, rispetto alle specie sempreverdi con riproduzione da *seme* (conifere). Le prime hanno la capacità di emettere polloni dagli organi ipogei non bruciati, che manca alle seconde, e possiedono, in genere, apparati radicali più sviluppati e quindi più adatti a stabilizzare il terreno.

La macchia mediterranea e la lecceta, solitamente spontanee, risultano quindi più adatte al recupero spontaneo ed alla difesa del suolo, rispetto ai boschi di conifere (solitamente di impianto artificiale).

La resilienza della tipica vegetazione mediterranea ha però un limite nella frequenza degli incendi. Episodi ripetuti e frequenti mantengono la vegetazione a stadi pionieri e causano erosione ed impoverimento del suolo. In situazioni di degrado pronunciate si determina, a lungo andare, la scomparsa della vegetazione sempreverde mediterranea e l'impossibilità di recuperare spontaneamente stadi vegetazionali evoluti.



Foto. B.6.1 – Incendio nella Riserva del Calanchi di Atri nell'estate del 2008 (C. Crocetti).

Gli incendi determinano un'alterazione delle caratteristiche fisico chimiche del suolo, una perdita di suolo fertile a causa dell'erosione idrica superficiale, che può evolvere verso forme incanalate, ed una riduzione delle azioni meccaniche ed idrologiche della copertura vegetale⁷⁶. I primi due effetti costituiscono quindi un impatto geopedologico, che si verifica nel breve periodo⁷⁷, i secondi costituiscono un impatto diretto sull'assetto geo-idrologico, che si esprime nel medio-lungo periodo (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006).

Le alterazioni chimico fisiche prodotte dal fuoco, sono correlate alle temperature sviluppate nell'incendio, che possono oscillare tra i 170 °C, negli incendi di stoppie e prati, e gli 850 °C negli incendi boschivi. Per basse temperature (*si ipotizza fino a 220°C*) si mobilitano i nutrienti che prima risultavano legati al suolo, con effetti positivi sulla fertilità, ma tali elementi risultano facilmente asportabili dall'erosione idrica delle prime piogge successive all'incendio. Per temperature medie (220-460°C) i composti di ferro e alluminio ricristallizzano, con indurimento degli aggregati e perdita di plasticità e elasticità. L'attività delle piante e dei microrganismi del suolo consente però, in pochi anni, il ripristino delle condizioni precedenti.

Per temperature alte (*superiori a 460°C*) si verificano danni alla struttura cristallina e spaziale del suolo, con perdita di coesione e plasticità, determinando condizioni particolarmente favorevoli al dissesto idrogeologico (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006; CORNELINI, SAULI - 2005).

In condizioni particolari si può creare uno strato idrorepellente a pochi centimetri dalla superficie formato dalla sostanza organica migrata verso il basso a seguito di un processo di pirolisi. Tale strato favorisce l'imbibizione del sottile strato soprastante, che può quindi essere

⁷⁶ Cfr. par. B.2 "Il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo"

⁷⁷ Soprattutto nei primi due mesi.



soggetto ad erosione accelerata e riduce la capacità di infiltrazione del terreno, con conseguenze anche sul bilancio idrologico del bacino idrografico (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006; CORNELINI, SAULI - 2005).

La perdita di suolo nelle aree incendiate può essere da 5 (*per incendi leggeri*) a 50 volte (*per incendi forti*) superiore a quella precedente all'evento. Le maggiori perdite del suolo avvengono nei primi due mesi dall'incendio e sono pari a 12-15 volte quelle che si verificano nei 3-4 anni successivi (BRUSCHINI, CASTELLO; CORNELINI – 2006, CORNELINI, SAULI - 2005). Considerando anche che gli incendi si verificano soprattutto d'estate, e quindi i terreni sono presto soggetti alle piogge autunnali, risulta fondamentale, in caso di forti incendi, **intervenire entro due mesi dall'evento**.

Possiamo quindi sintetizzare gli effetti sul suolo di incendi ripetuti ed intensi come segue:

- erosione idrica superficiale accelerata con perdita di suolo fertile;
- erosione idrica incanalata;
- alterazione chimico-fisica del suolo;
- diminuzione della capacità di infiltrazione;
- aumento del coefficiente di deflusso;
- riduzione dei tempi di corrivazione;
- aumento del rischio di frane e alluvioni e possibile innesco di fenomeni di desertificazione.

L'erosione idrica, in particolare, si manifesta attraverso la seguente sequenza di fasi (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006):

- *splash erosion*: l'impatto diretto delle gocce sul suolo, determina la disgregazione del suolo, la fluidificazione della componente humifera e l'occlusione dei pori;
- *sheet erosion* (o *erosione laminare*), in terreni a bassa pendenza;
- *rill erosion* e *gully erosion* (*erosione in rivoli* e *erosione incanalata*), in terreni a media e forte pendenza.

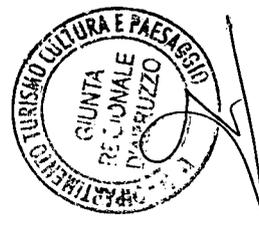
B.6.1 Linee guida d'intervento ed indicazioni progettuali⁷⁸

Gli incendi determinano effetti che, in alcuni casi, permettono un recupero spontaneo delle fitocenosi vegetali autoctone. Va quindi sempre valutata l'*opzione zero*, ovvero il non intervento, "in funzione della tipologia vegetazionale preesistente, delle forme biologiche dominanti e del tipo di capacità riproduttiva, valutando il dinamismo vegetazionale in atto" (CORNELINI, SAULI – 2005), come d'altronde prevede e prescrive la legge quadro in materia di incendi boschivi n.353/2000.

In caso di incendi di forte entità, soprattutto in condizioni di fragile assetto geo-idrologico dell'area percorsa dal fuoco, una volta verificata l'incapacità di recupero spontaneo della vegetazione, da parte di tecnici abilitati, si dovrà procedere ad interventi di difesa del suolo il più rapidamente possibile.

La sopra citata legge quadro prescrive, inoltre, che: "sono vietate per cinque anni, sui soprassuoli percorsi dal fuoco, le attività di rimboschimento e di ingegneria ambientale sostenute con risorse finanziarie pubbliche salvo specifica autorizzazione concessa dal Ministero dell'Ambiente per le aree naturali protette statali, o dalla Regione altri casi, per

⁷⁸ Nella presente trattazione non vengono trattate le misure *preventive* e *protettive* di lotta agli incendi, che tendono ad evitare che l'incendio si inneschi e si propaghi, e le misure di *lotta attiva*, atte a spegnere gli incendi. Tali misure sono ovviamente fondamentali per evitare il problema e per contenerne gli effetti e le dimensioni. Verranno quindi esposte linee guida d'intervento "*a fiamme spente*", ovvero nel caso che l'incendio si sia già verificato e sia stato domato.



documentate situazioni di dissesto idrogeologico e nelle situazioni in cui sia urgente un intervento per la tutela di particolari valori ambientali e paesaggistici”.

È opportuno a proposito fare una doverosa considerazione. La necessità di tempestivi interventi potrebbe contrastare sia con i tempi necessari all'iter burocratico-amministrativo di autorizzazione dei progetti di sistemazione, sia con i tempi necessari a reperire risorse economiche sufficienti a realizzarli. Nelle aree interessate da incendi intensi e ripetuti e soggette a pronunciati fenomeni di dissesto idrogeologico (come la Riserva dei Calanchi di Atri), occorrerebbe quindi, da un lato porre in atto procedure che riducano i tempi di autorizzazione, dall'altro riservare apposite voci di bilancio per poter intervenire prontamente. In altre parole occorre essere il più possibile pronti ad affrontare tali emergenza.

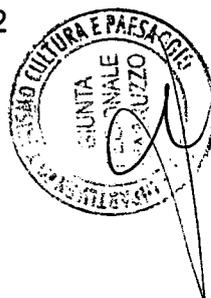
Gli interventi nelle aree percorse da incendi dovranno seguire le seguenti linee guida e relative indicazioni progettuali generali (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006, CORNELINI, SAULI – 2005):

| L'INEE GUIDA D'INTERVENTO | INDICAZIONI PROGETTUALI |
|---|---|
| <i>Intraprendere rapidamente le azioni necessarie ad evitare ulteriori fenomeni di degrado</i> | I primi due mesi dopo l'incendio sono quelli in cui si verifica la maggior parte della perdita di suolo, soprattutto se coincidono con una stagione piovosa. È necessario quindi intervenire tempestivamente e attivare procedure tecniche, burocratiche amministrative e finanziarie che riducano i tempi di intervento. |
| <i>Pianificare e progettare interventi combinati di difesa del suolo e di recupero e ricostituzione della copertura vegetazionale</i> | <p>Curare la protezione antierosiva superficiale, favorendo inerbimento e cespugliamento con specie autoctone.</p> <p>Curare la regimazione delle acque e valutare la possibile formazione di colate fangose negli impluvi.</p> <p>Il recupero della copertura vegetale può essere distinto in trattamento della vegetazione esistente ed impianto ex-novo.</p> <p>Effettuare sistemazioni del drenaggio superficiale, piccole sistemazioni idraulico-forestali intensive, sistemazioni estensive ed interventi di ingegneria naturalistica, per evitare erosione diffusa dei suoli e fenomeni di instabilità.</p> <p>Per interventi in aree interessate da frane attive o quiescenti, o comunque su pendii instabili, tali da costituire pericolo se intaccate, prevedere accorgimenti atti a prevenire i possibili dissesti.</p> <p>Prevedere programmi di gestione e manutenzione dell'area degli interventi.</p> |
| <i>Utilizzare, prioritariamente, tecniche a basso impatto ambientale per le opere di difesa del suolo</i> | <p>Impiegare prevalentemente tecniche antierosive, stabilizzanti e consolidanti dell'ingegneria naturalistica. Tra le opere antierosive ricordiamo le semine con aggiunta di sostanze concimanti, idrosemine con miscele ricche di sostanza organica e rivestimenti vegetativi con stuoie e reti biodegradabili (si noti la necessità di favorire il reintegro di sostanza organica nel suolo). Tra le opere stabilizzanti e di trattenimento del terreno le più utilizzate sono le palizzate, disposte in piccoli tratti di 4-5 m di lunghezza, alternati irregolarmente sui versanti (accorgimento tecnico-costruttivi importante in aree ampie come quelle percorse dal fuoco, in relazione all'inserimento paesaggistico dell'intervento). Per il consolidamento al piede dei versanti ricordiamo le palificate. Per consolidare piccoli solchi di erosione (30-40 cm) sono utili le palizzate e per gli gli impluvi briglie in legname e pietrame.</p> <p>Negli impluvi in cui si possono incanalare colate fangose possono essere necessarie briglie filtranti in legname e pietrame o con struttura metallica a monoancoraggio.</p> <p>Il materiale legnoso morto, in piedi ed a terra, può essere riutilizzato. I tronchi dovranno risultare funzionali per almeno ¾ del volume ed essere impiegati</p> |



| | |
|---|---|
| | <p>prevalentemente nelle opere stabilizzanti, quali semplici palizzate con funzione di trattenimento del terreno. Le ceppaie rimaste, se ancora sufficientemente ancorate al terreno, possono essere utilizzate con funzione di piloti verticali di ancoraggio delle palizzate. Nelle opere di consolidamento, quali le palificate, i tronchi morti possono essere utilizzati solo se sono in grado di svolgere le funzioni strutturali efficacemente. La ramaglia può essere riutilizzata per vimate morte (in cui bisogna curare bene il reinterro a monte, altrimenti la funzione di trattenimento del terreno viene vanificata dall'erosione idrica) o dissipatori dell'energia cinetica dell'acqua negli impluvi.</p> <p>Il legname non riutilizzabile deve essere asportato o cippato sul luogo stesso al fine di evitarne la movimentazione che può ostruire manufatti in alveo o comunque avere effetti negativi a valle.</p> <p>L'uso di legname di risulta dalle operazioni di bonifica, adatto in termini dimensionali, è preferibile per i costi contenuti e perché si reimpiegano biomasse legnose che, a lungo termine, contribuiscono al riequilibrio della sostanza organica al suolo, asportata dall'incendio.</p> <p>Porre particolare attenzione al materiale terroso di riempimento, alle modalità di reinterro delle opere ed alla scelta e messa a dimora di materiale vegetale. Così procedendo si può accettare una minore durabilità del materiale strutturale, usando il legname sul posto adatto dimensionalmente, purché si curi attentamente lo sviluppo di vegetazione con funzioni di consolidamento.</p> <p>Limitare i movimenti di terra. Il materiale terroso superficiale, ricco di sostanza organica deve essere stoccato separatamente ed utilizzato per il ricarica di superfici con profili pedologici scarsi e, preferibilmente, per il reinterro di opere di ingegneria naturalistica che assicurano il trattenimento del terreno evitandone l'erosione.</p> <p>Le vie di accesso alle aree di cantiere devono essere realizzate con tutti gli accorgimenti necessari ad evitare fenomeni di infiltrazione preferenziale delle acque di ruscellamento ed in genere la propensione al dissesto.</p> |
| <p><i>Valutare le possibili interazioni tra l'area declivi percorse dal fuoco ed eventuali corsi d'acqua presenti</i></p> | <p>Realizzare opere di difesa prioritariamente lungo le aree prospicienti i corsi d'acqua.</p> <p>Valutare l'interazione tra elementi idraulici critici (tombinamenti, ponti, ecc.) nei tratti del corso d'acqua a valle dell'area incendiata.</p> <p>Valutare le ripercussioni sulla rete idrografica se l'incendio ha interessato direttamente degli impluvi o si è sviluppato in prossimità di corsi d'acqua.</p> |
| <p><i>Utilizzare, prioritariamente, criteri ecologici e di selvicoltura naturalistica nella ricostruzione della vegetazione</i></p> | <p>Procedere ad una valutazione comparativa delle fitocenosi esistenti prima dell'incendio e del nuovo assetto vegetazionale dell'area interessata dagli interventi, tenuto conto della capacità di recupero spontaneo delle fitocenosi incendiate.</p> <p>In situazioni poco degradate può essere sufficiente favorire lo sviluppo delle pirofite presenti.</p> <p>Nel caso di incendi in rimboschimenti di conifere iniziare la riconversione verso i boschi di latifoglie autoctone a partire dagli stadi pionieri erbacei ed arbustivi, a seguito di analisi della serie dinamica della vegetazione autoctona.</p> |
| <p><i>Reintegrare, per quanto possibile, le perdite di sostanza organica e di biomassa vegetale mediante il reimpiego di materiali naturali (materiali legnosi, prodotti derivati da compostaggio, ecc.).</i></p> | <p>Per la ricostituzione del suolo e della sua frazione organica, a supporto di possibili operazioni di idrosemina e stesura di bioreti, utilizzare il materiale legnoso cippato e compost di qualità.</p> <p>La stesura di uno strato (1-3 cm) di cippato fornisce una duplice funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nel breve periodo, a partire dai primissimi mesi post-incendio, può fornire una sorta di feltro biodegradabile con funzioni antierosive; • nel medio-lungo periodo contribuisce all'apporto di sostanza organica in terreni carenti a causa del passaggio del fuoco. |

Tab. B.6.1.1 Indicazioni progettuali per aree percorse da incendio (rielaborazione da BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006, CORNELINI, SAULI – 2005).



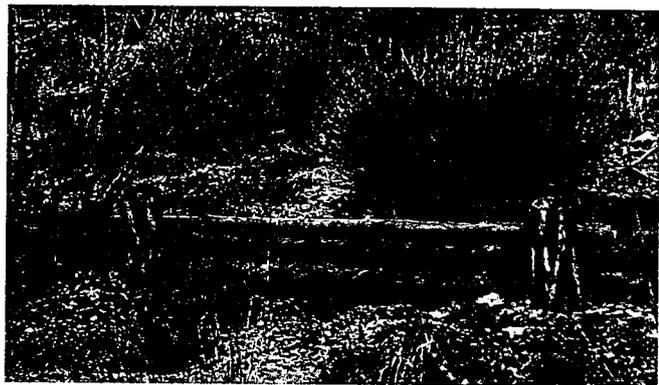
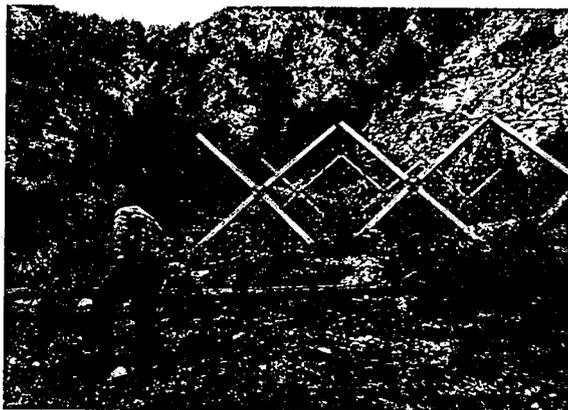


Foto. B.6.II-B.6.VII – Sistemazioni in aree percorse dal fuoco nel comune di Pizzoli (AQ). Dall'alto a sinistra in senso orario: estese sistemazioni di versante con opere lineari parallele alle curve di livello (palizzate) e messa a dimora di arbusti; consolidamento di versante con palificata in legname e pietrame; palizzata (vista laterale); palizzata con piloti verticali costituiti da ceppaie esistenti (vista frontale); briglia filtrante con struttura metallica a monoancoraggio; briglia filtrante in legname e pietrame. Si noti il generale riutilizzo di legname in loco.

(C. Crocetti).



B.6.2 Interventi di ricostituzione della vegetazione nelle aree percorse dal fuoco

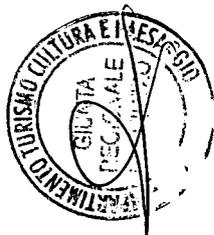
Gli interventi di recupero e di ricostituzione della copertura vegetale nelle aree incendiate sono un'operazione complicata, soprattutto dove incendi intensi hanno causato gravi danni al suolo e soprassuolo. Lo stato di degrado peggiora rapidamente nel tempo a causa dell'asportazione delle componenti fertili del terreno, rendendo sempre più difficili gli interventi di recupero della vegetazione. Le scelte tecniche attuabili sono difficilmente generalizzabili o codificabili, in virtù della variabilità ed imprevedibilità insita nell'uso di materiale vegetale.

Risulta in generale preferibile che la ricostituzione della vegetazione sia effettuata soprattutto in corrispondenza delle opere di ingegneria naturalistica, dove, adeguati reinterri, forniscono maggiore disponibilità di terreno dotato di buona porosità, migliore mantenimento dell'umidità, ecc. Evitare quindi la messa a dimora di piante isolate su terreno privo di copertura, soprattutto appartenenti a specie arboree *climaciche*⁷⁹.

Per quanto riguarda gli interventi di recupero e ricostituzione della copertura vegetale, occorre distinguere due casi: **trattamento della vegetazione esistente** a seguito dell'incendio ed **impianto ex-novo**.

| INDICAZIONI PROGETTUALI PER IL RECUPERO E LA RICOSTITUZIONE DELLA VEGETAZIONE NELLE AREE PERCORSE DAL FUOCO | |
|--|--|
| Trattamento della vegetazione esistente | Impianto ex-novo |
| <p><u>Bonifica della vegetazione</u> Bonifica del materiale legnoso di grosso diametro in piedi morto per combustione e/o attacchi parassitari. Taglio degli alberi al colletto, sramatura e depezzatura in misure adatte al reimpiego negli interventi di difesa del suolo, se lo stato di degrado ed i diametri funzionali lo consentono.</p> <p>La ramaglia non utilizzabile ed il materiale minuto vanno sminuzzati con cippatrice. Se questo non è possibile (ad esempio per difficoltà di accesso della macchina cippatrice) può essere concentrata in piccoli mucchi e sminuzzata con motosega (pezzi di max 40-50 cm di lunghezza) per facilitarne la decomposizione e quindi la cessione di sostanza organica.</p> <p>Il legname non utilizzabile nelle opere di difesa potrà essere fissato parallelamente alle curve di livello con dei picchetti, svolgendo funzioni</p> | <p>Effettuare rilievi, anche speditivi, della composizione della vegetazione esistente e nelle aree limitrofe con caratteristiche analoghe a quella incendiata.</p> |
| | <p>Valutare se la composizione specifica di aree indisturbate dal fuoco, anche di analoghe caratteristiche, sia applicabile nell'area percorsa dal fuoco, dove le condizioni di degrado sono maggiori.</p> |
| | <p>Utilizzare prevalentemente arbusti ricostruttori autoctoni, impostando il recupero della vegetazione dagli stadi iniziali, in relazione allo stato di degrado dell'area.</p> |
| | <p>Impostare l'impianto di arbusti in misura pari ad almeno il 70-90% della composizione specifica del nuovo impianto di vegetazione.</p> |
| | <p>Riservare una quota del 10-30% alle specie arboree che, in ogni caso, dovranno essere scelte tra quelle pioniere, proprie degli stadi di transizione tra gli arbusteti ed il bosco.</p> |
| | <p>Evitare l'impiego di specie climaciche (ad es. leccio), che potrebbero incontrare serie difficoltà in aree molto esposte e, con copertura vegetazionale e suolo degradati.</p> |
| | <p>Riservare una quota del miscuglio delle specie arbustive a leguminose (come le ginestre) che consentono buone garanzie di attecchimento ed ottime qualità di miglioramento del suolo, a vantaggio anche delle altre specie.</p> |

⁷⁹ Ovvero le specie che costituiscono lo stadio vegetazionale finale, in assenza di disturbi.



| | |
|--|--|
| di ostacolo all'acqua di scorrimento superficiale. | Riservare a leguminose una quota minima delle specie arboree, piantate in piccole aree ristrette e/o nell'ambito di eventuali parcelle pilota, al fine di verificare le capacità di miglioramento del suolo e di aumento dell'accrescimento. |
| <p><u>Trattamento ceppaie di latifoglie</u> Favorire la capacità delle latifoglie di emettere polloni dal colletto della ceppaia. L'entità del ricaccio delle ceppaie dipende dai danni subiti, ma raramente questi sono tali da annullare tale capacità. È comunque preferibile procedere ad un taglio selettivo a favore dei ricacci esistenti, eliminando i fusti morti in piedi. Se l'operazione risulta difficoltosa e purché i ricacci siano giovani, si rinnova la ceppaia, tagliando tutti i polloni al di sotto del loro punto di inserzione, favorendo quindi la sua ripresa vegetativa.</p> | <p>Per idrosemine e semine manuali usare miscugli molto diversificati di specie di sementi coerenti con la stazione d'intervento.</p> <p>Nel miscuglio per le semine inserire sempre specie arbustive e leguminose erbacee purché compatibili con il sito, in misura pari ad almeno il 25-35 % del miscuglio.</p> <p>Privilegiare la fornitura di materiale vegetale di impianto da vivai in loco.</p> <p>Utilizzare sempre, salvo casi particolari, piantine con pane di terra (fitocella, vasetto, ecc.) per ridurre gli stress di impianto.</p> <p>Utilizzare sempre piante giovani (1-2 anni) più adattabili a condizioni difficili dei siti di intervento.</p> <p>Non usare talee di salici nelle opere di ingegneria naturalistica in aree litoranee, salvo casi specifici valutati dal tecnico (in zone di ristagno idrico, impluvi, ecc.).</p> <p>Usare chips legnosi per la pacciamatura intorno alle piantine, per il mantenimento dell'umidità.</p> |

Tab. B.6.2.I Indicazioni progettuali per il recupero della vegetazione in aree percorse dal fuoco (rielaborazione da BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006).

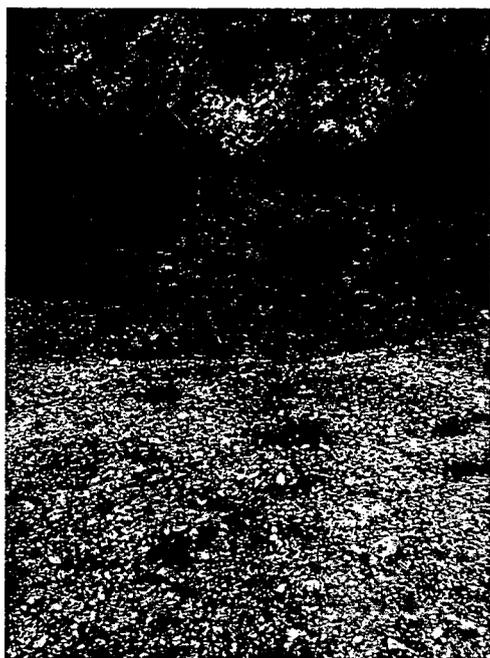
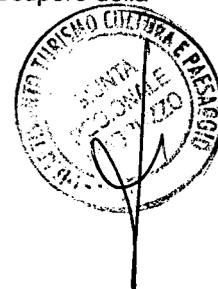


Foto B.6.VII- B.6.VIII – Interventi di ricostituzione del cotico erboso tramite rivestimenti vegetativi con biostuoia (nel particolare a destra) e semina manuale di miscela di sementi, collanti e sostanze organiche. Si noti nella foto a sinistra l'effetto determinante della biostuoia: dove non è stata posizionata (in basso), il recupero della vegetazione erbacea è più lento e stentato. (C. Crocetti).



Per quanto concerne gli interventi di recupero della vegetazione è bene infine accennare all'uso innovativo delle *micorrize* (BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI – 2006).

Si tratta di funghi che possono formare simbiosi con gli apparati radicali del 90% delle specie vegetali presenti al mondo. In ambito agricolo le micorrize sono utilizzate nelle piante bisognose di grandi quantità di nutrienti ed acqua per raggiungere ottimi risultati di crescita.

I funghi micorrizici ricevono dalle piante carboidrati ed altri composti importanti per le loro attività vitali, ma nella simbiosi:

- producono enzimi che le aiutano ad estrarre facilmente dalle particelle del suolo elementi nutritivi, diminuendo l'uso di fertilizzanti;
- favoriscono la crescita dell'apparato radicale che sviluppa una fitta ed estesa rete di filamenti da 2 a 5 volte più sottili delle normali radici, aumentando la superficie di assorbimento per unità di volume da 10 a 1000 volte ed esplorando gli spazi meno accessibili del terreno; le piante possiedono così una capacità di assorbimento più efficiente ed una maggiore tolleranza alla siccità, alla salinità, agli agenti patogeni ed agli squilibri chimici del suolo;
- favoriscono l'assorbimento dell'acqua, contenendo gli stress termo-idrici;
- diminuiscono l'azione degli agenti patogeni del suolo, fornendo resistenza ad una vasta gamma di patologie;
- producono humus e collanti organici facilitando l'aggregazione delle particelle del terreno in una struttura porosa, areata e permeabile;
- riducono lo shock del trapianto.

Le micorrize possono essere usate come trattamento della vegetazione esistente. In questo modo si "stimola" l'accrescimento degli apparati radicali e delle parti di piante (semi, parti di fusto, ecc.) ancora presenti in sito, favorendo la ripresa vegetativa e migliorando le caratteristiche del suolo. Si possono anche effettuare impianti ex novo con piante micorrizzate, aumentando notevolmente la garanzia di attecchimento.

B.7 Sistemazione di aree calanchive

Gli spettacolari paesaggi disegnati dalle forme calanchive caratterizzano fortemente il paesaggio collinare abruzzese ed in generale tutta la fascia argillosa periadriatica,

I calanchi costituiscono elementi geomorfologici e paesaggistici affascinanti, mentre dal punto di vista vegetazionale e faunistico rappresentano importanti nicchie di biodiversità.

I calanchi sono un geotopo da preservare e studiare, ma purtroppo anche un elemento di grave dissesto geomorfologico, da monitorare e su cui intervenire quando necessario.

I dissesti calanchivi per la loro pericolosità e la tendenza a progressivi arretramenti ed espansioni hanno da sempre costituito una minaccia per le attività antropiche, da affrontare con i giusti tempi, modi e tecniche.

Tali spettacolari geomorfotipi hanno da sempre suscitato l'interesse di tecnici, scienziati e studiosi allo scopo di approfondirne le conoscenze e definire interventi adatti a contenerne il dissesto, elaborando metodi diversi a seconda dell'obiettivo, delle condizioni ambientali locali e del contesto storico e socio-economico di riferimento.

Vista la diffusione dei calanchi nella penisola italiana, sono diverse le esperienze di sistemazioni di aree calanchive, differenziandosi per obiettivi, metodi e tecniche utilizzate e costituendo spesso approcci applicabili anche in aree diverse da quelle di origine.



B.7.1 Classificazione degli approcci metodologici

La stabilizzazione delle zone argillose e calanchive rientra nella problematica più generale degli interventi su litologie sciolte (argille, sabbie, ghiaie, ecc.).

La difficoltà di stabilizzare terreni argillosi è dovuta a caratteristiche geotecniche e geopedologiche che limitano la possibilità dell'uso di tradizionali tecniche di consolidamento con strutture rigide e pesanti (muri, gabbioni, ecc.). Questo soprattutto a causa della complessità di fondare le opere previste, se non con il ricorso ad onerose tecniche di fondazione e tirantatura con pali, da limitare ai casi strettamente necessari. Tali elementi fissi (puntuali o lineari) inseriti in un contesto altamente dinamico, rischiano inoltre di esaltare fenomeni erosivi in prossimità delle strutture stesse.

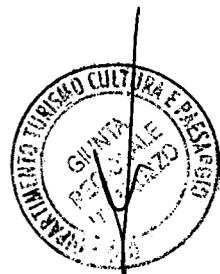
Possiamo individuare due macro scenari di applicazione e suddividere le sistemazioni di aree calanchive in base agli obiettivi che si intendono raggiungere, da cui dipendono diversi approcci metodologici (Tab. B.7.1.I).

Si può inoltre individuare quello che potrebbe essere definito un *quarto obiettivo* nell'ambito della gestione e manutenzione di un territorio calanchivo: preservare e conservare tali geotopi.

In zone di pregio naturalistico e paesaggistico la scelta può essere orientata verso l'adozione di forme di tutela e protezione, quale l'istituzione di un'area protetta. È questo il caso della Riserva Naturale Regionale dei Calanchi di Atri e del Parco Regionale dei Gessi Bolognesi e dei Calanchi dell'Abadessa. In tali aree il non intervento rappresenta un preciso vincolo territoriale, limitando le sistemazioni alle sole situazioni di particolare pericolo.

| SCENARI DI APPLICAZIONE | OBIETTIVO | TIPOLOGIE PREVALENTI DELLE TECNICHE UTILIZZATE |
|--|---|--|
| Interventi su versanti in erosione in zone extraurbane | Bonifiche di vaste aree con lo scopo di aumentare superfici coltivabili . | Le tecniche utilizzabili rimandano soprattutto alle sistemazioni idraulico-agrarie quali regimazioni idrauliche, movimenti di terra e riprofilatura più o meno accentuata dei versanti, fino allo spianamento delle aree in dissesto. |
| Interventi su versanti in erosione in zone extraurbane | Sistemazioni di interi bacini idrografici, o porzioni di bacino, per ridurre il trasporto solido con lo scopo di prevenire l'interrimento di laghi artificiali o di diminuire il rischio di sovralluvionamento nei collettori principali dei corsi d'acqua | Gli interventi rientrano soprattutto nella sfera delle sistemazioni idraulico-forestali e dell' ingegneria naturalistica , adatte a ricostituire una vegetazione stabile sulle pendici. Tali interventi vanno spesso abbinate a briglie (in terra, cemento, legname e pietrame, ecc.) nei torrenti calanchivi per consolidare il piede delle pendici, oggetto di interventi, e trattenere il materiale solido. |
| Interventi su scarpate in adiacenza di infrastrutture viarie o tecnologiche in aree antropizzate | Sistemazioni puntuali o lineari per la mesa in sicurezza di edifici, infrastrutture ed in genere attività antropiche | Si utilizzano tecniche di ingegneria naturalistica, sistemazioni idraulico-forestali e tecniche classiche che utilizzano elementi rigidi, quali muri o gabbioni (eventualmente dotati di opportune fondazioni e tirantature su pali). |

Tab. B.7.1.I - Tabella di correlazione tra scenari di applicazione, obiettivi degli interventi e tipologie prevalenti delle tecniche utilizzate (rielaborazione e sintesi da contenuti di PUGLISI - 2002, 2005 e SAULI, CORNELINI, FERRARI - 2002).



L'impiego dell'ingegneria naturalistica e degli interventi a verde in genere, rappresenta una valida soluzione, soprattutto nelle sistemazioni di area vasta.

A tal fine vanno inquadrati i seguenti presupposti necessari per una buona riuscita degli interventi.

- intervento immediato sulle superfici di neoformazione, prima dell'accentuarsi del fenomeno erosivo, anche con trattamento meccanico superficiale di ricomposizione (fresatura, erpicatura, ecc);
- uso di ammendanti per il miglioramento delle caratteristiche fisico-chimiche dei suoli;
- impiego di miscele erbacee idonee alle condizioni pedoclimatiche;
- uso di specie arbustive autoctone;
- uso di talee di specie pioniere (*Tamarix*, *Atriplex*, alcune specie del genere *Salix*);
- uso prevalente di tecniche antierosive e stabilizzanti;
- impiego localizzato di tecniche di consolidamento.

Le tecniche disponibili per interventi su litologie sciolte sono numerose. La scelta su quali utilizzare dipende dai fattori morfologici ed ecologici che caratterizzano la stazione d'intervento. Particolarmente importante è la pendenza dei versanti, che permette di effettuare un primo inquadramento generale delle tipologie tecniche utilizzabili in diverse categorie di acclività (Fig. B.7.1.I).

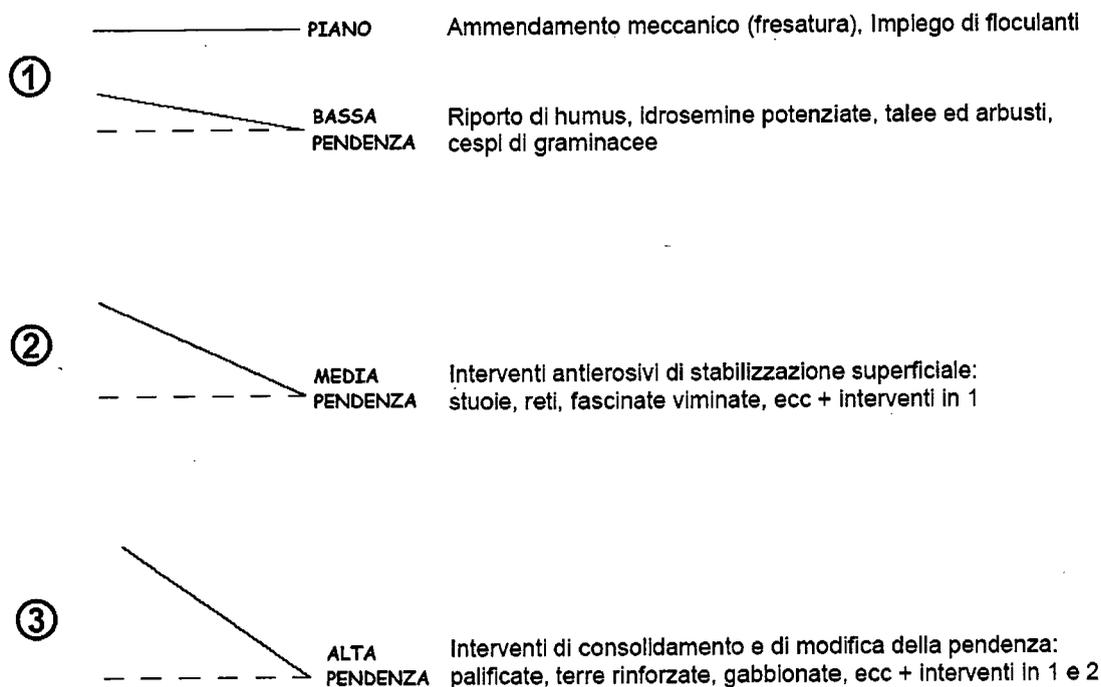


Fig. B.7.1.I - Inquadramento generale delle tipologie tecniche di ingegneria naturalistica utilizzabili su litologie sciolte (SAULI G., CORNELINI P., FERRARI R. - 2002).



B.7.2 Esperienze italiane

B.7.2.1 Le sistemazioni idraulico-agrarie del Landeschi

La "lotta al calanco" ha da sempre rappresentato una necessità per molte popolazioni italiane di agricoltori. La necessità di difendere i propri coltivi, ha sicuramente portato generazioni di contadini a porre molta attenzione alla manutenzione del territorio e, forse, a sperimentare tecniche per ridurre l'espansione del fenomeno.

La larga diffusione di specie vegetali come quelle del genere *Tamarix*, in aree con forte diffusione di calanchi e di forme erosive superficiali (come ad Atri), fa pensare al suo utilizzo, da parte dei nostri avi, per ottenere effetti di stabilizzazione del terreno. Non è raro d'altronde reperire testimonianze in tal senso ancora oggi.

Si comprende quindi perché il primo esempio documentato di bonifica di aree calanchive, sia quello di estese sistemazioni idraulico-agrarie realizzate allo scopo di ampliare le superfici coltivabili. Si tratta degli interventi effettuati ad opera del sacerdote Giovan Battista Landeschi, nella seconda metà del 1700, nel comune di San Miniato (PI), che intendeva difendere ed ampliare le aree arabili della sua parrocchia.

Il curato elaborò una tecnica ripresa poi nei secoli successivi. Scavò fossi di guardia che cingevano i circoli calanchivi in modo da raccogliere le acque di scorrimento superficiale a monte e convogliarle sulle creste sottostanti dove erano stati realizzati solchi erodenti. In questo modo le creste venivano erose e si potevano spianare facilmente ed i sedimenti prodotti andavano a riempire le briglie in terra costruite nel fosso calanchivo (*colmate di monte*), realizzando nuove superfici agricole.

Il Landeschi indicava, inoltre, la necessità di consolidare e difendere al piede le pendici e "se questa parte sia rasente ad un rio o corso d'acque...devesi porre della macchia a virgulti di salici, vetrici, pruni...".

L'approccio proposto dal sacerdote ha nel suo complesso la caratteristica di rispettare la topografia e la morfologia dei rilievi calanchivi, senza arrivare a spianamenti e scassi totali e brutali, con pesanti modifiche del paesaggio esistente.

La tecnica è stata utilizzata fino agli anni '70, soprattutto nell'area toscano-romagnola (Val d'Era e Brisighella), fino a quando l'esodo rurale ha reso inutile la ricerca di nuove superfici coltivabili.



Fig. 2 - Articolo comparso sul "Giornale di agricoltura" del 1952 (da CALZECCHI, ONESTI 1952).



Fig. 3 - Sistemazione idraulica agraria secondo il metodo del Landeschi. Notare la rete di fossi di guardia a monte dei calanchi ed solchi erosivi sulle creste, che trasportano i sedimenti colmando le briglie in terra costruite nei fossi. (da CALZECCHI, ONESTI 1954).



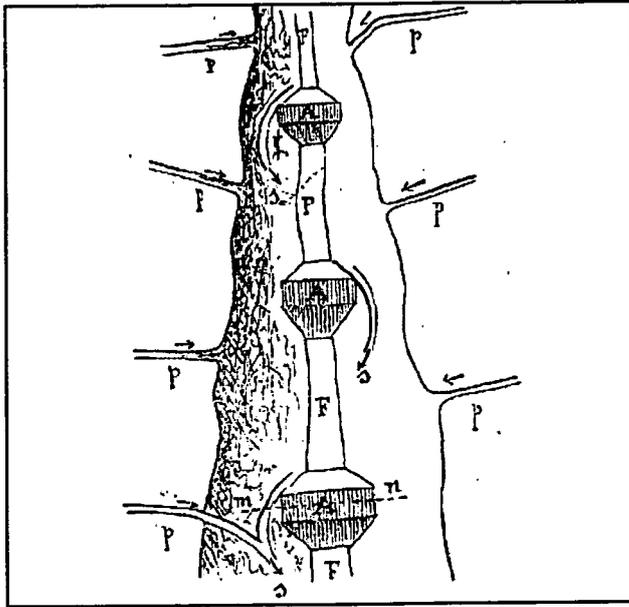


Fig. 4 - Schema funzionale della sistemazione di un fosso calanchivo (F). Le colmate di monte si formano dietro le briglie in terra (A), grazie ai sedimenti trasportati dai solchi sulle creste (p). Le acque convogliate dall'alveo bypassano le briglie attraverso sfioratori laterali (s). (da Sabbatini 1922).

B.7.2.2 Sistemazioni idraulico-forestali delle colline calanchive del materano

Un esempio di estesa sistemazione idraulico-forestale realizzata in Italia, allo scopo di ridurre il trasporto solido, è quello delle colline calanchive del materano (*Collina di Timmari, Aliano, Pisticci*).

I lavori sono stati avviati negli anni '50, con fondi della Cassa per il Mezzogiorno, per proteggere da interrimenti precoci alcuni invasi artificiali previsti a valle.

L'approccio metodologico si è basato su alcune semplici considerazioni ed osservazioni:

- l'impossibilità di effettuare subito un rimboschimento, viste le colate di fango che interessano periodicamente versanti e vie di drenaggio calanchivi;
- l'inutilità di opere di stabilizzazione, quali graticciate, che potevano subire facilmente dei sifonamenti a seguito dello spappolamento delle argille, vanificando la loro funzione di trattenuta;
- la necessità di adottare soluzioni che permettessero alla vegetazione di attecchire sulle pendici dei calanchi;
- l'osservazione di un ciuffo di sparto (*Lygeum spartum* L.) prostrato da una colata di fango, che aveva strappato foglie e frutti, impedendone la propagazione.

Si doveva quindi mettere al riparo la vegetazione dagli effetti del fango che scendeva sulle pendici, conseguenza dello spappolamento delle argille fessurate dopo eventi di pioggia. È stata così elaborata una tecnica che prevede lo schema d'intervento della tabella e figura seguente



| FASE | DESCRIZIONE |
|--------|--|
| Fase 1 | Leggero scoronamento delle creste ed apertura di fossi di scolo con funzione erodente. Scavo all'interno delle vallecole tra le creste di solchi a spina di pesce per intercettare le acque di ruscellamento dagli impluvi e convogliarle sui displuvi. In questo modo si riduce la possibilità di formazione di colate di fango, convogliandole sulle creste e quindi favorendone il processo erosivo di scoronamento e permettendo l'affermazione di vegetazione spontanea tra i solchi. |
| Fase 2 | Inversione della disposizione dei solchi, una volta affermata la vegetazione sui compluvi e sulle pendici. Si intercetta così l'acqua dai displuvi (sufficientemente erosi) convogliandola verso gli impluvi (sufficientemente vegetati), favorendo il rinverdimento dei primi. La seconda fase non è mai stata eseguita per mancanza di finanziamenti. Considerando comunque la sua onerosità, può essere sostituita con messa a dimora di talee ed arbusti di specie idonee nei solchi ormai logorati. |

Tab. B.7.2.2.I - Descrizione delle fasi di intervento delle sistemazioni idraulico-forestali realizzati nelle colline calanchive del materano (rielaborazione da PUGLISI - 2002, 2005).

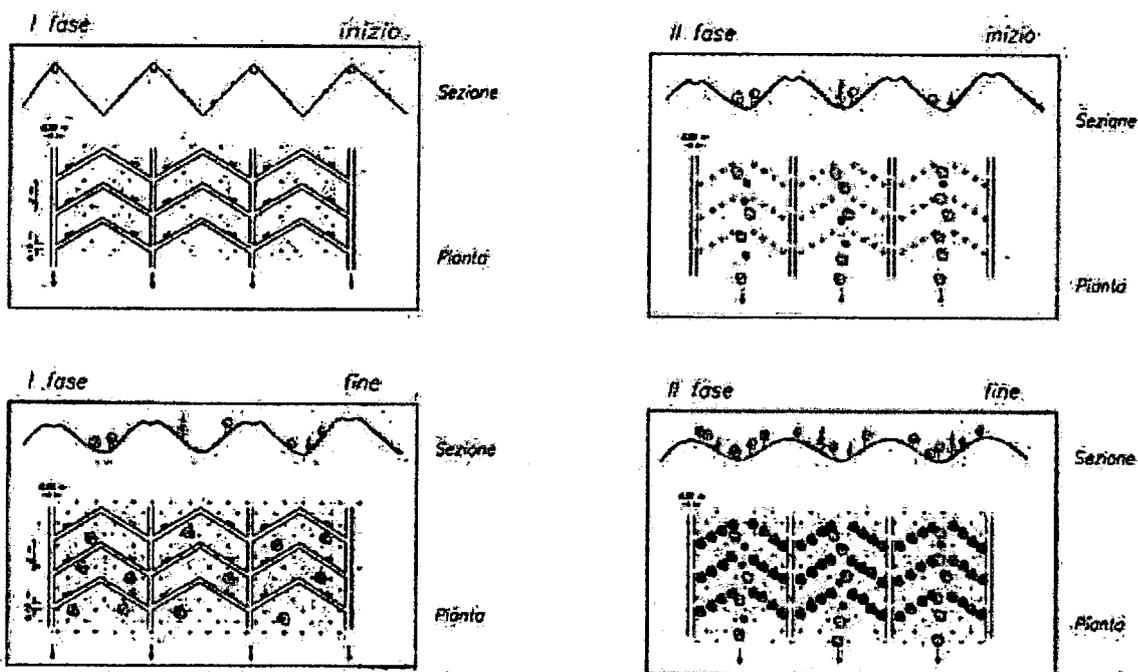


Fig. B.7.2.2.I - Schema della sistemazione mediante canali erodenti. I solchetti secondari disposti negli impluvi recapitano acqua a quelli principali realizzati per smussare le creste, svolgendo le funzioni di intercettare le colate fangose incipienti ed impedirne la formazione. In una fase successiva si può invertire il loro andamento per svolgere la stessa funzione sui fianchi delle creste in via di scoronamento, oppure si può procedere direttamente e mettere a dimora, come nel disegno, talee, cespi, rizomi di specie idonee, nelle aree rimaste ancora nude al termine della prima fase. (da PUGLISI - 2005).

La sistemazione estensiva su fianchi e creste dei versanti è stata affiancata da opere negli alvei dei corsi d'acqua, in particolare briglie. Il fitto reticolo idrografico consiste in un sistema di canyon a debole pendenza, sezione ad U ed alte sponde subverticali. Queste grandi incisioni sono soggette ad arretramento delle testate, che innesca altre incisioni. Queste si



propagano in ventagli molto ramificati, e ad erosione spondale che destabilizza i versanti affetti da incisioni *gully* a V.

Si nota nell'intero approccio metodologico l'adattamento alla situazione locale ed agli specifici obiettivi da raggiungere, delle geniali intuizioni del Landeschi.

- Nelle *gully* di prima formazione si è intervenuto con opere leggere: graticci, briglie in legname o gabbioni, che hanno fermato l'incisione ed hanno permesso l'inesco della vegetazione spontanea.
- Negli alvei a forte pendenza e sezione a V sono state realizzate briglie in terra aventi scarpa 2:1, per fermare l'erosione del letto e consolidare le pendici calanchive. Nei bacini più grandi lo scivolo centrale di deflusso sul paramento di valle delle briglie (sopraelevabili) è stato rivestito con lastre cementizie leggermente armate, nei bacini più piccoli con lastre cementizie ed arbusti.
- Negli alvei a debole pendenza e sezione ad U sono state costruite briglie miste con vasca centrale in calcestruzzo ed ali in terra alte 5 m, sopraelevabili con fondazioni su pali.

B.7.2.3 Interventi sperimentali di ingegneria naturalistica nel senese

Un esempio significativo di interventi di ingegneria naturalistica in aree calanchive sono quelli effettuati in provincia di Siena, nel triennio 1997-1999 dalla Comunità Montana del Monte Cetona.

Nel comune di San Casciano dei Bagni (SI) in località Casa del Rigo, è stato realizzato un cantiere sperimentale sull'uso di tecniche di ingegneria naturalistica in ambienti calanchivi.

Gli interventi erano funzionali alla messa in sicurezza di un insediamento agricolo e di una strada, attraverso il rallentamento del fenomeno di erosione regressiva del calanco, senza pretendere il completo rinverdimento del bacino calanchivo.

Il progetto, cofinanziato dalla Regione Toscana, ha avuto anche l'obiettivo di definire specie vegetali idonee alle particolari condizioni morfologiche, pedologiche, climatiche e vegetazionali degli ambiti calanchivi senesi.

Si è inteso inoltre produrre risultati esportabili in zone analoghe ed incrementare le possibilità occupazionali, fornendo alla mano d'opera locale una formazione specialistica sulle tecniche utilizzate sia per la fase di realizzazione che di manutenzione.

Il bacino calanchivo, di circa 2 ettari, è formato da un impluvio principale ed uno secondario, in cui si manifestavano fenomeni di dissesto per frane tipo colata e scorrimento rotazionale. Le superfici di scorrimento risultavano poco profonde, ma determinavano un arretramento della testa del calanco, mettendo in pericolo una strada e dei capannoni agricoli. Gli interventi realizzati possono essere suddivisi in sei categorie come nella tabella seguente.

| CATEGORIA | INTERVENTI |
|---|--|
| <i>Opere di modellamento</i> | Gradoni carrabili di riprofilatura del versante al fine di ridurre la pendenza. |
| <i>Opere di regimazione idrica superficiale e sotterranea</i> | Fascine vive drenanti con tubo microforato alla base dei gradoni per allontanare le acque meteoriche dalla zona di coronamento. Drenaggi profondi con ghiaia e fascine morte a monte dei gradoni. |
| <i>Opere di rialzamento del fondo degli impluvi</i> | Briglia in terra nel Fosso del Cantanino che costituisce il recapito del bacino calanchivo. Briglie in legname in diverse combinazioni ⁸⁰ , sperimentate per cercare di risolvere i problemi |

⁸⁰ Briglie a palizzata riempite di fascine, a palizzata filtrante, a palificata semplice, a palificata doppia, con riempimento di terra e talee, con gaveta centrale.



| | |
|--|---|
| | di aggiramento e scalzamento tipici delle briglie tradizionali realizzate sui calanchi; a tal fine tra briglia e briglia sono state realizzate fascinate vive nell'impluvio principale o coperture diffuse con ramaglia viva nell'impluvio secondario. |
| <i>Opere sui versanti di consolidamento e difesa dell'erosione</i> | Grate vive con palificate di consolidamento al piede e gradonate vive, a tratti sostenute da palizzate, sui versanti soggetti ad erosione diffusa e movimenti gravitativi. |
| <i>Interventi antierosivi di ricostituzione del manto erboso</i> | Semina a spaglio di miscele commerciali adatte alle condizioni stazionali che garantissero la necessaria copertura antierosiva in attesa dell'attecchimento di specie autoctone; in una porzione delle superfici d'intervento è stato inoltre sperimentato dello sfalcio autoctono; gli interventi di semina sono stati preceduti e seguiti dallo spandimento mediante innaffiatoio degli stessi collanti e concimi organici usati nelle idrosemine. Rivestimenti vegetativi con biostuoie in diversi materiali. |
| <i>Difese di sponda</i> | Coperture diffuse con astoni sulle sponde in erosione alla confluenza tra il Fosso Cantanino e l'impluvio principale. |

Tab. B.7.2.3 Interventi realizzati nel cantiere sperimentale di Casa del Rigo (rielaborazione da BERNABEI M. L., MAZZONI, G., PEI A. - 2002,2003)

Già dopo i primi anni di monitoraggio, in cui si sono verificati anche eventi meteorici rilevanti, è stata verificata la riuscita degli interventi. Il ciglio calanchivo non è arretrato e non si sono verificati movimenti gravitativi. L'erosione di fondo è stata arrestata, grazie alle briglie, che non sono state sifonate o aggirate dalle acque. I drenaggi, le grate ed i rivestimenti vegetativi si sono rivelati efficaci. Le coperture diffuse con ramaglia viva hanno funzionato meglio delle fascine nel proteggere i tratti tra briglia e briglia. L'erosione tipo *rills* è praticamente scomparsa grazie all'affermarsi della copertura erbacea ed ottimi sono stati i risultati con lo sfalcio autoctono.

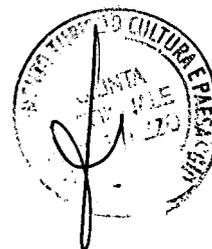
Da quanto brevemente descritto emerge come l'ingegneria naturalistica ben si sia adattata ad interventi nell'area in questione, grazie soprattutto alla grande flessibilità delle tecniche. Ogni situazione di dissesto è stata trattata utilizzando la tecnica ed il materiale che meglio rispondevano ad ogni specifica situazione. Le lavorazioni sono state inoltre eseguite per larga parte manualmente, in modo da evitare gli effetti destabilizzanti dovuti alla realizzazione di piste di accesso per i mezzi meccanici.

Grazie al rallentamento dei fenomeni erosivi, la vegetazione ha potuto ricolonizzare l'area, permettendo una stabilizzazione del bacino calanchivo.

B.7.2.4 Un caso esemplare: bonifica e rinaturalizzazione dei calanchi di S. Marino

Circa il 20% dei 6120 ettari del territorio della Repubblica di San Marino è interessato da fenomeni calanchivi. A partire dagli anni '70 e nei successivi quattro decenni, l'Amministrazione Statale ha inteso dotarsi di strumenti di pianificazione esecutiva di bonifica dei bacini calanchivi, estesa a tutto il territorio nazionale.

Il primo passo in questa direzione è costituito dal Piano generale di bonifica delle zone calanchive. I lavori previsti nel piano sono iniziati nel 1978 e si son



protratti fino agli inizi degli anni '90, quando circa il 90% delle opere previste risultava realizzato.

Nella progettazione degli interventi, fondamentale è stato il contributo del Consorzio di Brisighella, forte di una lunghissima esperienza di bonifica dei calanchi romagnoli, che fu chiamato a redigere il piano in collaborazione con i tecnici degli uffici statali.

Foto B.7.2.4.1 – Panoramica aerea degli interventi di bonifica nel bacino del fosso di Fosso Riva nell'aprile del 1994

Il territorio è stato diviso in undici unità idrografiche, procedendo al rilievo sistematico dei bacini calanchivi ed alla progettazione degli interventi.

L'approccio progettuale si è basato fondamentalmente sulla realizzazione di opere di rialzamento del fondo attraverso briglie⁸¹, partendo dal compluvio di fondovalle per risalire gradualmente verso l'alto. Successivamente si è proceduto ad un rimodellamento morfologico dei versanti e delle creste. In questo modo è stata ottenuta una riduzione dell'erosione e del trasporto solido, un consolidamento dei versanti e l'arresto dell'arretramento dei cigli calanchivi.

Dato l'utilizzo prevalente e massiccio di mezzi meccanici per gli interventi descritti, si è però determinata una consistente riduzione della copertura vegetale. È quindi risultata urgente la necessità di una rinaturalizzazione delle aree calanchive, in modo da ottenere una protezione antierosiva delle superfici ed una riqualificazione ambientale e paesaggistica.

Nel 1993 è stato redatto un Piano di rinverdimento delle aree calanchive e loro possibile recupero a scopo produttivo redatto dagli uffici tecnici statali. È stato quindi avviato un esteso piano di interventi di semina e rivestimenti vegetativi, sperimentando diverse soluzioni:

- semina a spaglio o distribuzione di semi di sulla;
- rivestimenti vegetativi con biostuoie in paglia o cocco;
- semine a stuoia⁸² con paglia e fieno;
- semina su compost proveniente dalla frazione organica di rifiuti urbani;
- idrosemina potenziata con mulch ed a spessore.

Le semine sono state effettuate previa esecuzione di fosse livellari, per raccogliere le acque di scorrimento superficiale e convogliarle nei sistemi di regimazione idraulica già esistenti.

I risultati ottenuti dalle sperimentazioni hanno permesso di valutare le tipologie più adatte alle diverse situazioni in termini di efficacia tecnica e convenienza economica.

In termini di efficacia antierosiva⁸³ sono stati ottimi i risultati ottenuti con le semine a stuoia e su compost (copertura vegetazione: 80-100%) e buoni con l'idrosemina (copertura 70-80%), che risulta una tecnica particolarmente



⁸¹Briglie in muratura, in terra, in cemento armato.

⁸²Consistentè nella stesura di uno strato di paglia o fieno, fissato con una rete di nailon picchettata a terra, che viene concimata e seminata.



competitiva in termini di economicità e rapidità di esecuzione. I risultati raggiunti con i rivestimenti vegetativi non sono stati ottimali, anche in ragione degli elevati costi di realizzazione, raggiungendo un discreto effetto di copertura solo con la biostuoia in cocco (70%). Piuttosto modesti sono stati i risultati con la semina a spaglio ed il loro uso è da limitare a stazioni d'intervento con pendenze limitate e condizioni di suolo accettabili.

A seguito delle sperimentazioni effettuate, l'idrosemina potenziata con mulch è stata giudicata quella con il miglior rapporto costi-benefici, permettendo di intervenire con buoni risultati su vaste superfici, in modo rapido e con spese contenute.

La sperimentazione si è conclusa nel 1995, impedendo di perfezionare l'applicazione delle tipologie tecniche utilizzate e di avviare l'uso di quelle stabilizzanti e consolidanti di ingegneria

Foto B.7.2.4.1 - Vista frontale della bonifica del bacino di Fosso del Re dopo l'idrosemina nell'ottobre del 2002
(Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM)

naturalistica, per anni si è quindi proceduto con soli interventi antierosivi di inerbimento, soprattutto idrosemina.

La bonifica idrogeologica e la sola idrosemina, non sono però state sempre sufficienti ad arrestare il fenomeno e ad instaurare uno stadio vegetazionale sufficientemente evoluto, in grado di assicurare una stabilità duratura al sistema. Nei siti con le caratteristiche più sfavorevoli si è assistito ad una diminuzione della copertura erbosa formatasi a seguito degli inerbimenti.

Nel frattempo stava maturando la necessità di elaborare nuovi obiettivi del processo di recupero e bonifica dei calanchi, nuove funzioni compatibili con la natura di queste aree e nuovi criteri d'intervento, sviluppando scelte che permettessero una progressiva integrazione dei calanchi nel contesto paesaggistico e socio-economico di riferimento.

A tal proposito si faceva notare che, anche se l'obiettivo di bonifica dei calanchi poteva considerarsi per larga parte raggiunto, non era così per quello di recupero delle aree per usi agro-pastorali, sia a causa dello scarso coinvolgimento degli agricoltori, sia per le difficoltà in cui si trova da anni questo comparto economico

Nasceva quindi la consapevolezza di orientare il recupero delle aree calanchive verso l'inserimento nell'*ecomosaico* del paesaggio sanmarinese, collegandolo alla *rete ecologica* locale, con la funzione di creare ecosistemi capaci di compensare e riequilibrare il notevole carico antropico che grava sul territorio.

L'esperienza sin qui maturata dai tecnici e dall'apparato statale del Monte Titano, ha permesso di avviare quella che possiamo definire una terza fase delle sistemazioni di aree calanchive, avviando sperimentazioni nell'ottica di un nuovo approccio.

Già nell'ambito del Piano di rinverdimento delle aree calanchive furono realizzati in via sperimentale interventi stabilizzanti con tecniche di ingegneria naturalistica⁸⁴.

Solo a partire dal 2001 l'impiego di queste tecniche ha avuto uno slancio decisivo. Infatti grazie alla realizzazione di un corso di formazione in ingegneria naturalistica con cantieri didattici, sono state sperimentate alcune tipologie di opere di stabilizzazione⁸⁵.

Nel 2002 veniva organizzato un convegno "Interventi di rivegetazione e tecniche di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione di versanti calanchivi", momento utile per fare il punto dello stato dell'arte ed individuare prospettive future.

⁸³Valutata in funzione della copertura erbacea ottenuta a circa 8 mesi dalla fine dei lavori.

⁸⁴Una graticciata di tamerici ed una siepe di arbusti su un ciglio calanchivo.

⁸⁵Una gradonata, una cordonata, una viminata ed una fascinata.



Nello stesso anno veniva costituito un Gruppo Interdipartimentale⁸⁶ di Esperti di Ingegneria Naturalistica (GIEIN), con il compito di individuare e sviluppare soluzioni progettuali, volte alla stabilizzazione e rinaturalizzazione delle aree calanchive.

È stato quindi redatto un *Piano stralcio del bacino del Fosso del Re*, che costituisce un progetto pilota di pianificazione delle opere di ingegneria naturalistica su scala di bacino calanchivo.

La redazione del piano è stata preceduta da una fase preliminare di acquisizione di dati ed informazioni su due distinti livelli. Il primo corrispondente alla scala dell'intero bacino calanchivo, adatta per descriverne le generali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche, vegetazionali, pedologiche, faunistiche, climatiche e di uso del suolo.

Il secondo livello di analisi preliminare, è andato più nel dettaglio delle singole aree interessate da dissesti. Il bacino è stato diviso in subaree cartografate in scala 1:2000 e per ognuna sono state prodotte delle schede descrittive distinte in "zona di compluvio" e "zona di espluvio". Tali schede rivelano anche le caratteristiche microclimatiche ed ecologiche principali, le dimensioni, la natura e l'origine del fenomeno erosivo, le condizioni geomorfologiche, naturali o indotte dai precedenti interventi di bonifica e rinverdimento, ed ogni altro elemento utile alla progettazione degli interventi.

Dai dati provenienti dall'analisi preliminare sono stati definiti dei criteri di scelta delle tecniche da adottare. In funzione dei fattori di diversa natura presenti nel territorio, sono stati individuati gli obiettivi da perseguire e le categorie di intervento più opportuno (Tab.B.7.2.4.1).

| | FATTORI | OBIETTIVI | INTERVENTI |
|-----------------------------|----------------------------|--|--|
| Emergenze di crinale | Vicinanza aree urbanizzate | Messa in sicurezza edifici ed infrastrutture | Consolidanti e protettivi |
| | Acque incontrollate | Convogliamento e regimazione | Protettivi, stabilizzanti, drenaggio |
| | Usi agricoli intensivi | Creare fasce protettive | Cespugliamento |
| Versanti | Suolo nudo | Prevenire erosione | Protettivi, eventuali stabilizzanti |
| | Erosione in atto | Controllo e risanamento | Protettivi, eventuali stabilizzanti |
| | Nicchie smottamenti | Risanamento e stabilizzazione | Consolidanti, drenaggi tecnici o biotecnici, eventuale modifica pendio |
| | Sfioratori briglie | Funzionalità, prevenire scalzamento | Manutenzione, protettivi |
| | Fossi | Funzionalità, prevenire erosione | Protettivi, stabilizzanti |
| | Alveo fondovalle | Prevenire erosione, protezione sponde | Stabilizzanti, consolidanti |
| | Strade servizio | Prevenire erosione, protezione scarpate | Manutenzione, stabilizzanti, consolidanti |

Tab. B.7.2.4.1 - Tabella dei criteri d'intervento (BEVITORI M. M., CASALI S. GUIDI E., PEDRELLA MORONI S., TAMAGNINI F., VENDEMINI M. - 2004).

Confrontando le categorie d'intervento della tabella B.7.2.4.1 con l'elenco delle tipologie

⁸⁶I Dipartimenti (o Dicasteri) della Repubblica di San Marino sono l'omologo dei Ministeri italiani.



tecniche di ingegneria naturalistica, ormai largamente codificate in letteratura, sono state scelte quelle ritenute più opportune. Elaborato un primo elenco (Tab. B.7.2.4.II), le diverse tecniche sono state analizzate ed adattate alle caratteristiche del sito d'intervento.

Ogni tecnica è stata poi codificata in schede, con elaborazioni grafiche ed informazioni sui materiali utilizzati, le modalità ed i periodi di esecuzione, i campi di applicazione, gli svantaggi ed i vantaggi, i costi di realizzazione, secondo schemi proposti dalla letteratura in materia. Tali schede rappresentano un pratico strumento da utilizzare nelle fasi di progettazione ed esecuzione di opere di ingegneria naturalistica nel territorio sanmarinese.

Ad ogni porzione di territorio sono state associate una o più tipologie tecniche, effettuando un dimensionamento delle opere ed a una stima di materiali, tempi, costi e risorse necessari alla loro realizzazione. Anche in questa fase sono state prodotte schede per ogni porzione di territorio con le tecniche da utilizzare, una breve descrizione morfologica e del dissesto e prescrizioni sulle fasi lavorative (quali piste di accesso e lavorazioni preliminari).

Realizzata tale mappatura e stima dei costi d'intervento è stato realizzato un piano poliennale esecutivo, prevedendo per ogni stagione la necessaria copertura economica da predisporre nel bilancio statale.

| PROTETTIVI | STABILIZZANTI | CONSOLIDANTI |
|--|--|-----------------------------------|
| Idrosemina potenziata con <i>mulch</i> | Talee e cespugliamenti | Palificata viva semplice e doppia |
| Idrosemina a spessore | Viminata/graticciata con ramaglia viva e piantine radicate | Grata viva |
| Semina su compost | Fascinata con ramaglia viva e piantine radicate (varianti) | Terra rinforzata rinverditata |
| Semina su stuoia con paglia e fieno | Drenaggio con fascine | Gabbionata rinverditata |
| Rivestimenti vegetativi con biostuoia, biorete o biofiltro | Gradonata con ramaglia viva e piantine radicate | Cuneo filtrante |
| | Cordonata con ramaglia viva e piantine radicate | |
| | Rivestimento vegetale di fossi | |
| | Palizzata/staccionata viva | |
| | Palizzata per impluvi | |
| | Briglia viva in legname | |

Tab. B.7.2.4.II - Tipologie tecniche adottabili negli ambiti calanchivi del territorio della Repubblica di S. Marino (BEVITORI M. M., CASALI S. GUIDI E., PEDRELLA MORONI S., TAMAGNINI F., VENDEMINI M. - 2004).

L'esperienza sanmarinese rappresenta un caso esemplare di approccio interdisciplinare, organico e meticolosamente pianificato alla bonifica di bacini calanchivi. Un esempio di pianificazione esecutiva integrata, che ha saputo adeguarsi alle diverse caratteristiche spaziali del territorio di riferimento ed alle modifiche temporali delle necessità d'intervento, adeguando obiettivi, metodi di approccio e tecniche utilizzate.

Una pianificazione sempre aggiornata con il progresso scientifico e tecnologico e pronta alla sperimentazione di nuove tecniche.

L'uso quasi pionieristico di tecniche antierosive di semina e rivestimento, proprie



dell'ingegneria naturalistica, sperimentate negli anni '90, ne hanno fatto un'esperienza all'avanguardia nel panorama centrale e meridionale della penisola italiana. Il recente Piano stralcio del Fosso del Re, in cui si pianifica un uso di tecniche stabilizzanti e consolidanti di ingegneria naturalistica non puntuale, ma esteso ad un intero bacino calanchivo, rappresenta anch'esso una novità di approccio per il territorio italiano.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. *Annali del Servizio Idrografico e Mareografico di Pescara dal 1971 al 2001*. Regione Abruzzo. www.regione.abruzzo.it
- AA. VV. (1970) *Atti della Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, Vol. I - Relazione conclusiva*. Roma.
- AA. VV. (1974a) *Atti della Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, Vol. II - parte seconda*. Roma
- AA. VV. (1974b) *Atti della Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, Vol. III*. Roma.
- AA. VV (2001) *Regolamento Comunitario: procedure tecnico amministrative per la gestione del vincolo idrogeologico e disposizioni in materia di difesa del suolo*. Comunità Montana Valle del Marecchia. www.vallemarecchia.it
- AA. VV. (2003). *Proposta di Regolamento di Polizia Rurale per i comuni della Provincia di Pordenone*. Provincia di Pordenone – Settore Agricoltura Aziende Sperimentali e Dimostrative, Settore Manutenzione e Gestione Rete Stradale. www.provincia.pordenone.it
- AA. VV. (2008) *Proposta di Regolamento di Polizia Rurale*. Provincia di Pesaro ed Urbino – Assessorato OO. PP., Mobilità, Trasporti, Edilizia Pubblica. www.provincia.pu.it
- AA. VV.(2009a) *Grata viva di versante: Cantiere didattico Riserva Regionale M.te Genzana Alto Gizio*. Primo Quaderno di Campo Aipin-Gruppo Promotore Abruzzo, Riserva Regionale M.te Genzana Alto Gizio.
- AA. VV. (2009b) *Palificata viva tipo latina: cantieri didattici Riserva Regionale Calanchi di Atri*. Secondo Quaderno di Campo. Aipin-Gruppo Promotore Abruzzo, Riserva Regionale Calanchi di Atri, WWF. www.riservacalanchidiatri.it (di prossima uscita).
- AIPIN (1997) *Codice deontologico dell'Associazione Nazionale per l'Ingegneria Naturalistica*.
- ANDERSON H. W. (1957) *Relating sediment yield to watershed variables*. *Transcriptions, Am. Geoph. Un.*, 38, 921-924.
- ANSELMI B., CROVATO C., D'ANGELO L., GRAUSO S. (1994). *I calanchi di Atri (Abruzzo): caratteri mineralogici, geotecnici e geomorfologici*. *Il Quaternario*, n°7, 145-158.
- ARMANINI A. (1999) *Principi di idraulica fluviale*. Editoriale Bios.
- AVENA G. C., LUPIA PALMIERI E. (1969) *Analisi geomorfica quantitativa in "Idrogeologia dell'alto bacino del Liri"*, edito da Accordi B., *Geologica Romana*, VIII, Università degli Studi di Roma, 319-378
- BADESCU V. (2008) *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface: Recent Advances*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- BERNABEI M. L., MAZZONI, G., PEI A.(2002) *L'ingegneria naturalistica applicata ad interventi di consolidamento e recupero di aree a morfologia calanchiva. Una sperimentazione nel territorio senese*. Atti Conv. "Interventi di rivegetazione e tecniche di I. N. per la stabilizzazione dei versanti calanchivi, R. S. Marino, 21 giugno



- 2002, a cura di G. Sauli e A. Zilli. R. S. Marino-Segr. di Stato per il Terr., l'Amb. e l'Agr. e AIPIN.
- BERNABEI M. L., MAZZONI, G., PEI A. (2003) *Un freno all'erosione – consolidamento e recupero di aree calanchive*. Acer n. 5/03. Il Verde Editoriale, Milano.
- BERTINI T. (1987). *Ambiente geologico e condizioni di rischio nell'Abruzzo adriatico*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 333-340.
- BEVITORI M. M., CASALI S. GUIDI E., PEDRELLA MORONI S., TAMAGNINI F., VENDEMINI M. (2004) *Se la terra cede – piano di consolidamento dei calanchi*. Acer n. 3/04. Il Verde Editoriale, Milano.
- BIONDI F., BRONDI A., DI LORETO E., GISOTTI G., MARCOLINI L., MARGOTTINI C., ROSSI R. (1994) *I rilievi collinari sulle argille in "I paesaggi geologici italiani"* Soc. It. di Geol. Amb., 4.
- BRUSCHINI, CASTELLO, CORNELINI (2006) *Linee guida per gli interventi di riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco*. REGIONE LIGURIA, MINISTERO DELL'AMBIENTE.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHICCHINI U. MICARELLI A., POTETTI M., DI LORITO L., LEONELLI M., PESARESI A., TADDEI L., VENANZINI D., (1980) *Analisi dell'evoluzione dei "bacini minori" torbiditici del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese: 8) Il bacino della Laga tra il F. Fiastrone – T. Fiastrella ed il T. Fluvione*. Studi Geol. Camerti, 6.
- CALZECCHI-ONESTI A. (1952) *La lotta al calanco*. Giornali di agricoltura, 27 genn., 3, 10, 17 febr.
- CALZECCHI-ONESTI A. (1954), *Sistemazione del terreno e fertilità in collina*. REDA, Roma.
- CASNEDI R., CRESCENTI U., TONNA M. (1982) - *Evoluzione dell'avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene, sulla base di dati di sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It.
- CASNEDI R., CRESCENTI U. (1986) – *Generalità sul Plio-Pleistocene del Bacino abruzzese*. Il Plio-Pleistocene marchigiano-abruzzese (guida all'escursione), 11.
- CASNEDI R., SERAFINI G. (1994) – *Interpretazione geologica della sezione sismica nella Valle del Vomano (Abruzzo)*. Atti Tic. Sc. Terra (Serie speciale) 2, 45-49.
- CASTELVECCHI A., VITTORINI S. (1967) *Osservazioni sui calanchi appenninici*. Boll. Soc. Geol., 52, 357-360.
- CASTIGLIONI B. (1933) *Osservazioni sui calanchi appenninici*. Boll. Soc. Geol., n°57 pp. 357-360
- CASTIGLIONI G.B. (1991) – *Geomorfologia*. UTET
- CAVAGLIA' A. (1997) *Rilevamento geologico e caratterizzazione geotecnica di un'area compresa tra il Fiume Vomano ed il Torrente Cerrano (Abruzzo settentrionale)*. Tesi di laurea inedita – Corso di laurea in Scienze Geologiche - Università degli studi di Roma "La Sapienza".
- CAVAZZA S. (1962) *Sulla erodibilità dei terreni di alcuni bacini calabro lucani in "Aspetti geografici dell'erosione del suolo in Italia"*, edito da G. Morandini, CNR Padova, 177-196.
- CAVAZZA S. (1972) *Contributo al calcolo del potenziale di erosione*. Riv. It. Geof., 21 27-32.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N. DEIANA G., MICARELLI A. (1979) – *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese: 5) Risultati degli studi in corso*. Mem. Soc. Geol., 38 (1978), 135 - 170



- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., CRISTALLINI C. (1990) – *I depositi terrigeni neogenici del teramano (Abruzzo settentrionale)*. Riassunti "Posters" 75° Congresso Nazionale Soc. Geol. It., Milano, 1990, 46-47.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., BERTI D., BIGI S., MORELLI C., RIDOLFI M. (1991/92) – *Stratigrafia ed analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. Studi Geologici Camerti, volume speciale CROP 11, 125-131.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., RIDOLFI M., CRISTALLINI C., MORELLI C. (1993) – *Contributo alla conoscenza dei depositi terrigeni neogenici di avanfossa del teramano (Abruzzo settentrionale)* – Boll. Soc. Geol. It., 112, 63-81.
- CENTAMORE E., NISIO S., PRESININZI A., SCARASCIA MUGNOZZA G. (1997). *Evoluzione morfodinamica e fenomeni franosi nel settore periadriatico dell'Abruzzo settentrionale*. Studi geologici Camerti, anno XIV, 9-27.
- CHIECO A., MELIDORO G., (1985) *Movimenti di massa nell'Italia meridionale: "sakung", calanchi, frane, subsidenza*. Geolo. Appl. e Idrogeol, anno XX, 691-699.
- CHOW VEN TE. (1959) *Open channel hydraulics*. MacGrow-Hill Book Co. Inc.
- CICCACCI S. FREDI P. LUPIA PALMIERI E., (1977) *Rapporti fra trasporto solido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici italiani*. Workshop "Misura del trasporto solido al fondo dei corsi d'acqua". CNR, Firenze.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E., PUGLIESE F. (1980) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. geol. It., 99, 455-516.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E., PUGLIESE F. (1987) *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basin through geomorphic, climatic and hydrological parameters* in "International Geomorphology - Parte II, edito da Gardiner V., John Wiley and sons Ltd., Chichester, 33-48.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. (1988) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa allo studio dei processi di denudazione del bacino idrografico del torrente Paglia*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1, 171-188.
- CNR-GNDICI (1993) *Progetto AVI-Relazione Abruzzo*. U.O. n. 10, Società di Geologia applicata. <http://avi.gndci.cnr.it/>
- COLLI B., DE ASCENTIIS A. (2003) *Il Cenerone – Vulcanello di fango di Pineto*. De Rerum Natura, 35-36, 10-15.
- COMUNITA' EUROPEA (2009) *Agricoltura conservativa (agricoltura blu)*. Progetto S.O.C.O. -Sustainable Agriculture and Soil Conservation. <http://soco.jrc.ec.europa.eu>
- CORNELINI P., CRIVELLI C., PALMERI F., SAULI G. (2001) *La sistemazione idraulica del Rio Inferno (FR)*. Acer n. 2/01. Il Verde Editoriale, Milano.
- CORNELINI P. (2002) *Criteri di manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico*. Min. Amb. e Terr. - Direzione difesa del suolo. www.minambiente.it
- CORNELINI P. SAULI G. (2005) *Manuale di indirizzo per le scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. Min. Amb.-Direz. Gen Difesa Suolo- Progetto Operativo Difesa del Suolo (PODIS). www.minambiente.it
- CORNELINI P., FERRARI R. (2008) *Manuale di ingegneria naturalistica per le scuole secondarie*. Regione Lazio. www.regione.lazio.it



- COSTANTINI E. (1994) *Introduzione alle cover crop*. Not. ERSA Friuli Venezia Giulia, Suppl. n.°2.
- COTECCHIA V., VALENTINI G., MELIDORO G. (1963) *L'erosione continentale*. Geotecnica, n°2, pp.72-83
- COTECCHIA V., VALENTINI G.(1966) *Geologia, erosione, condizioni di stabilità e possibilità di sbarramento della media valle del Sini*. Geol. Appl. e Idrogeol., anno I, pp. 179-219
- CROCETTI C. (2005) *Analisi della vulnerabilità del suolo all'erosione in funzione dei parametri geomorfici, finalizzata alla riduzione del dissesto idrogeologico*. Tesi di laurea inedita – Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio - Università di Bologna in collaborazione con l'E.N.E.A.
- CROCETTI C., CAVAGLIA' A., DE ALBENTIS M. (2009) *Unità idrografica del Bacino Regionale del Piomba-Inquadramento della matrice ambientale ed antropica*. Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. www.riservacalanchidiatri.it
- CROCETTI C., CAVAGLIA' A. (2009) *I Calanchi-Caratteristiche delle morfologie calanchive*. Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. www.riservacalanchidiatri.it
- CROCETTI C. (2009a) *Unità idrografica del Bacino Regionale del Piomba-Quaderno delle carte tematiche*. Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. www.riservacalanchidiatri.it
- CROCETTI C. (2009b) *Sistemazioni aree calanchive – Tipologie ed esperienze nella penisola italiana*. Riserva Regionale dei Calanchi di Atri. www.riservacalanchidiatri.it
- CROVATO C., GRAUSO S. (1999). *I calanchi di Atri (Abruzzo):un dissesto da combattere o un bene geologico da preservare?*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LIV, 413-418.
- DEMANGEOT J. (1965) *Geomorphologie des Abruzzes Adriatique*. Mem. Et Docum., Cnrs.
- D'ANGELO L. (1991). *Osservazioni mineralogiche, geotecniche e geomorfologiche sulle argille calanchive di Atri (Teramo)*. Tesi di laurea inedita – Corso di laurea in Scienze Geologiche - Università la Sapienza in collaborazione con ENEA
- DE ALBENTIS M. (2005). *L'Indice di Continentalità-Oceanicità di Ivanov* OMTeA-Osservatorio Meteorologico Teramano e dell'Adriatico, Meteo Teramo Web. www.meteoteramo.it
- DE ALBENTIS M. (2005). *L'Indice di Aridità di De Martonne*. OMTeA – Osservatorio Meteorologico Teramano e dell'Adriatico, Meteo Teramo Web. www.meteoteramo.it
- DE ALBENTIS M. (2005) *Relazione degli eventi meteorologici del 24-30 Gennaio 2005 nella Provincia di Teramo*. OMTeA – Osservatorio Meteorologico Teramano e dell'Adriatico, Meteo Teramo Web. www.meteoteramo.it
- DEL PRETE M., VALENTINI (1971) *Le caratteristiche geotecniche delle argille azzurre dell'Italia sud orientale in relazione alle differenti situazioni stratigrafiche e tettoniche*. Geol. Appl. e Idrogeol., anno VI, pp. 195-215.
- DEL PRETE M., BENTIVENGA M., COPPOLA L., RENDELL H. (1994) *Aspetti evolutivi dei reticoli calanchivi a sud di Pisticci*. Geol. Rom., n°30, 295-306.
- DOUGLAS I. (1968) *Sediment sources and causes in the humid tropics of northeast Queensland, Australia* in "Geomorphology in a tropical environment", edito da Harvey A. M., Brit. Geom. Res. Group. Occ. Pap., 5, 27-39.
- DRAMIS F., GENTILI B., COLTORTI M., CHERUBINI C. (1982) *Osservazioni geomorfologiche sui calanchi marchigiani*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 38-45.
- ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE (1991) *UNI 9910 - Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio*.



ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE (1991) *UNI 10147 - Manutenzione. Terminologia.*

FARABOLINI P., GENTILI B., PAMBIANCHI G. (1992) *Contributo allo studio dei calanchi: due aree campione.* Studi Geol. Camerti, 12, 105-115.

FARABOLINI P., NISIO S. (1996) *Evoluzione geomorfologica quaternaria del bacino del Fiume Vomano (Abruzzo).*

FERRAILOLO F., VICARI M. (1996) *Programma Macra.* Atti convegno convegno AIPIN Bologna "Sistemazioni idrauliche con metodi naturalistici".

FERRARI C., SPERANZA M. (1975) *La vegetazione dei calanchi dell'Emilia-Romagna (con note di sistematica per la vegetazione dei suoli alomorfi interni).* Not. Fitosoc., n°10, pp. 69-86.

FERRARI R. (2006) *Quaderni di cantiere – VOL. 1-12.* Regione Lazio. www.regione.lazio.it

FERRARI R. (2008) *Quaderni di cantiere – VOL. 13-18.* Regione Lazio. www.regione.lazio.it

FLORINETH F. (1999) *Analisi del limite.* Acer n. 4/99. Il Verde Editoriale, Milano.

FOURNIER (1960) *Climat et érosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitation atmosphériques.* Press. Univ. de France, Paris.

GAZZOLO T., BASSI. G. (1964) *Relazione tra i fattori del processo di ablazione ed il trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua.* Min. Lav. Pubbl. Giornale del Genio Civile, 6, 377-395.

GERTSGRASER C. *Wirksamkeit ingenieurbioologischer Bauweisen an Fliessgewassern.* Convegno EFIB Trieste 1999 pp. 39-45

GIORDANI C., ZANCHI C. (1995) *Elementi di conservazione del suolo.* Patron editore.

GRAUSO S. (1994) *Confronto di metodi per la valutazione dell'erosione del suolo. Sintesi delle ricerche condotte dall'ENEA in alcune aree sperimentali dell'Abruzzo.* ENEA.

GRAUSO S., FATTORUSO G., CROCETTI C. MONTANARI A. (2008) *Estimating the suspended sediment yield in a river network by means of geomorphic and regression relationships.* Hydrol. Earth Syst. Sci., 12, 177-191.

GREENWAY D. R. (1987). *Vegetation and slope stability* in "Slope stability" a cura di M. G. Anderson e K.S Richards. J. Wiley et Sons, New York.

GUERRICCHIO A., VALENTINI G. (1975) *Un modello matematico per la valutazione dell'erosione tratto dall'esame di pendii calanchivi nelle argille azzurre lucane.* Geol. Appl. e Idrogeol., anno X, pp. 241-276.

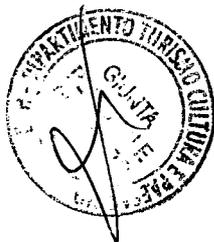
GUERRICCHIO A., MELIDORO G., (1979) *Contributo alla conoscenza dell'origine dei calanchi nelle argille grigio azzurre dalabriane della Lucania.* Ann. Fac. Ingegneria, N. S., IV, 100-116.

GUERRICCHIO A., MELIDORO G., (1982) *New views on the original of the badlands in the Plio-Pleistocenic clays of Italy,* Poc. IV Congr. IAEG, 2.

GUERRICCHIO A. (1988) *Aspetti geologici sull'erosione dei litorali e loro influenza nel campo applicativo.* Geol. Appl. e Idrogeol., anno XXIII, pp. 29-78.

GUIDI E. (2001) *I Calanchi di San Marino–il ripristino di terreni in erosione.* Acer n. 2/02. Il Verde Editoriale, Milano.

GUIDI E. (2002) *Esperienze di rivegetazione nei calanchi bonificati: interventi biotecnici di rivestimento.* Atti Conv. "Interventi di rivegetazione e tecniche di I. N. per la stabilizzazione dei versanti calanchivi, R. S. Marino, 21 giugno 2002, a cura di G. Sauli e A. Zilli. R. S. Marino-Segr. di Stato per il Terr., l'Amb. e l'Agr.; AIPIN.



- ICHIM I., RADOANE M (1987) *A multivariate statistical analysis of sediment yield and prediction in Romania* in "Geomorphological models: theoretical and empirical aspects" edito da Ahnert F., Catena supplement, 10, 137-146.
- HORTON R. E. (1945) *Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bull., Geol. Soc. Amer., 56, 275-370.
- LACHAT B. (1986) *Place à la nature - Des berges naturelles*. WWF Dossier.
- LANDESCHI G. B., (1775) *Saggi di agricoltura di un parroco Sanminiatese*, in Passerini G., "Giovane Battista Landeschi precursore ed apostolo della difesa del suolo". *Accademia Economico-agraria dei Georgofili*, vol. VI - serie settima - Firenze 1959.
- LANDINI P., MASSIMI G. (1999) *Geoconomia del territorio* in "Monografia della Provincia di Teramo-il XX secolo", Vol 1. Edigrafital, Teramo.
- LANGBEIN W. B., SCHUMM S. A. (1958) *Yield of sediment in relation to mean annual precipitation*. Transactions, Am. Geoph. Un., 39, 1076-1084.
- LULLI L., RONCHETTI (1973) *Prime osservazioni sulle crepacciature dei suoli nelle argille plioceniche marine della Valle dell'Era, Volterra (Pisa)*. Ann. Ist. Sper. Studio Dif. Del Suolo, n°4, pp 143-149.
- LULLI L. (1974) *Un'ipotesi sulla formazione dei calanchi nella Valle dell'Era*. Ann. Ist. Sper. Studio Dif. Del Suolo, n°5, pp 349-352.
- LUPIA PALMIERI E., (1983) *Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Proc. XXIII Congr. Geog. It., Catania, 143-176.
- MAZZANTI R., RODOLFI G. (1989) *Evoluzione del rilievo nei sedimenti argillosi e sabbiosi dei cicli neogenici e quaternari italiani* in "La gestione delle aree franose". Edizioni delle Autonomie, 13-60.
- MINISTERO AMBIENTE E POLITECNICO DI MILANO (2005) *GisNatura*, Database cartografico.
- MINISTERO AMBIENTE (2006) *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica*. Min. Amb e Terr.-Direz. Gen Difesa Suolo-Progetto Operativo Difesa del Suolo (PODIS). www.minambiente.it
- MORANDI M. (1999). *Viabilità ed insediamenti* in "Monografia della Provincia di Teramo-il XX secolo", Vol 1. Edigrafital, Teramo.
- NISIO S., PRESTININZI A., SCARASCIA MUGNOZZA G. (1997). *I calanchi del settore settentrionale della fascia periadriatica abruzzese: quadro morfotettonico e loro caratterizzazione*. Riassunti Conv. FIST, Bellaria (Rimini) 5-9 ott. 1997
- PAGLIAI M., RAGLIONE M., DE SIMONE C., D'EGIDIO G., MORANDI M. (1997) *Effects of continuous pasturing and tillage on soil structure and erosion*. Agr. Med., vol. 127, 70-81.
- PANICUCCI M. (1972) *Ricerche orientative sui fenomeni erosivi nei terreni argillosi*. Ann. Ist. Sper. Studio Dif. Del Suolo, n°3, pp 197-216.
- PAREA G. C., VALLONI R. (1983). *Paleospiege pleistoceniche della zona di Atri-Silvi (Abruzzo)*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, 114, 51-82.
- PASSERINI G. (1937) *Influenza dell'immersione degli strati ed influenza dell'orientamento dei versanti sulla degradazione delle argille plioceniche*. Boll. Soc. Geol., n°56, pp. 45-62.
- PINNA M. (1977) *Climatologia*. UTET – Torino.

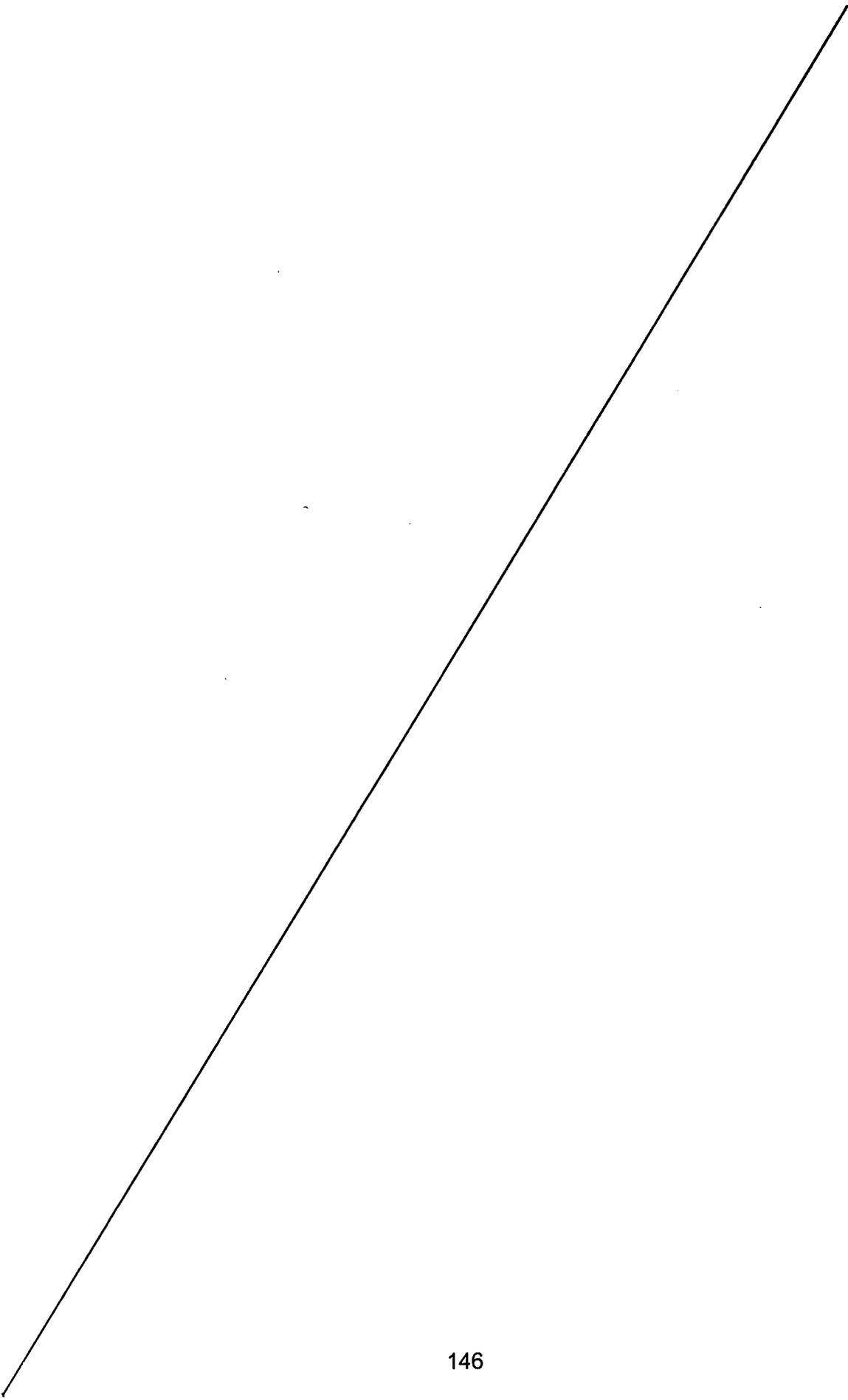


- PINNA, VITTORINI (1989) *Su alcune caratteristiche delle argille plioceniche della valle dell'Era (Toscana) in rapporto alla genesi di calanchi e biancane*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., n°12, pp. 131-137.
- PIRONE G. (1981a) *Flora e vegetazione dei calanchi d'Atri*. Notizie dell'Economia Teramana, n°10-11-12, pp. 64-72.
- PIRONE G. (1981b) *La vegetazione dei calanchi nelle argille plioceniche del subappennino abruzzese*. Archivio Botanico e Biogeografico Italiano, n°57, pp. 134-152.
- PISANTE M. (2007) *Agricoltura Blu – la via italiana dell'agricoltura conservativa*. Edagricole, Bologna
- PROVINCIA DI TERAMO (2001) *Piano Territoriale della Provincia di Teramo*. Provincia di Teramo – Assessorato Urbanistica e Pianificazione Territoriale. www.provincia.teramo.it.
- PUGLISI S. (2002) *I calanchi del materano. Esperienze passate e studi recenti di sistemazione idraulico forestale con tecniche di ingegneria naturalistica*. Atti Conv. "Interventi di rivegetazione e tecniche di I. N. per la stabilizzazione dei versanti calanchivi, R. S. Marino, 21 giugno 2002, a cura di G. Sauli e A. Zilli. R. S. Marino-Segr. di Stato per il Terr., l'Amb. e l'Agr.; AIPIN.
- PUGLISI S. (2005) *Sistemazione di versanti calanchivi* in "Manuale di Ingegneria Naturalistica, VOL. 3, Sistemazione dei versanti". Regione Lazio. www.regione.lazio.it
- RAPETTI F. (2004) *Dispense di Meteorologia e Climatologia del Corso di Laurea in Scienze Ambientali*. Facoltà di Pisa.
- RAVAGNI L. (2002) *Il Piano Generale di Bonifica dei calanchi di S. Marino*. Atti Conv. "Interventi di rivegetazione e tecniche di I. N. per la stabilizzazione dei versanti calanchivi, R. S. Marino, 21 giugno 2002, a cura di G. Sauli e A. Zilli. R. S. Marino-Segr. di Stato per il Terr., l'Amb. e l'Agr.; AIPIN.
- REGIONE ABRUZZO (2000) *Carta di Uso del Suolo*. Regione Abruzzo.
- REGIONE ABRUZZO (2005.a) *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo-Fenomeni gravitativi e processi erosivi*. Regione Abruzzo – Direzione Territorio e Autorità di Bacino.
- REGIONE ABRUZZO (2005.b) *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Abruzzo-Difesa alluvioni*. Regione Abruzzo – Direzione Territorio e Autorità di Bacino. www.regione.abruzzo.it
- REGIONE CAMPANIA (2002) *Regolamento per l'attuazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica nel territorio della Regione Campania*. www.regione.campania.it
- REGIONE PIEMONTE (2003) *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica*. www.regione.piemonte.it
- RESTREPOA J. D., KJERFVEB B., HERMELINA M., RESTREPOA J. C. (2006) *Factor controlling sediment yield in a major south american drainage basin: the Magdalena River, Colombia*. J. Hydrol., 316, 213-232.
- RICCI F., DE SANCTIS A. (2004) *Studio della dinamica temporale del paesaggio della Riserva dei Calanchi di Atri tramite rilievi su foto aeree*. Riserva Regionale dei Calanchi d'Atri – WWF. www.riservacalanchidiatri.it
- RODOLFI G., FRASCATI F. (1979) *Cartografia di base per la programmazione in aree marginali (area rappresentativa dell'alta Val d'Era)*. In Memorie illustrative della carta geomorfologica. Ann. Ist. Sper. Studio e Dif. Del Suolo, n°10, pp 37-80.



- SABBATINI L. (1922) *La sistemazione dei terreni di montagna in rapporto alla legislazione forestale*, in Ist. Sup. For. Naz. "Atti del 1° Convegno tecnico-forestale italiano (Firenze, 20-21 giugno 1921)", Vallecchi, Firenze.
- SANNA S. (2003) *Sistemazioni idraulico-forestali nella difesa del suolo*. Dario Flaccovio Editore, cap 1-2-4-5-8-9-11-13.
- SAULI G., CORNELINI P., FERRARI R. (2002) *Possibili applicazioni delle tecniche di ingegneria naturalistica nelle aree argillose calanchive*. Atti del convegno "Interventi di rivegetazione e tecniche di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei versanti calanchivi, Repubblica di San Marino, 21 giugno 2002, a cura di Giuliano Sauli e Antonella Zilli. Repubblica di San Marino-Segreteria di Stato per il Territorio, l'Ambiente e l'Agricoltura; AIPIN (Ass. It per l'Ing. Nat.).
- SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. (2003) *Manuale di Ingegneria Naturalistica - VOL. 1, Sistemazione idrauliche*. Regione Lazio. www.regione.lazio.it
- SAULI G., CORNELINI P., PRETI F. (2006) *Manuale di Ingegneria Naturalistica - VOL. 3, Sistemazione dei versanti*. Regione Lazio. www.regione.lazio.it
- SFALANGA M., MALESANI P., VANNUCCI S. (1974) *Relazioni fra caratteristiche mineralogiche e parametri fisici delle argille. Alcune considerazioni sulla stabilità dei versanti*. Ann. Ist. Sper. Studio e Dif. Del Suolo, n°5, pp 229-254.
- SFALANGA M., CANUTI P., TACCONI P. (1972) *Ricerche di geomorfologia applicata nel bacino dell'Era*. Ann. Ist. Sper. Studio e Dif. Del Suolo, n°3, pp 119-156.
- SFALANGA M., VANNUCCI S. (1975) *Ricerche mineralogiche-petrografiche sui sedimenti neoautoctoni*. Ann. Ist. Sper. Studio e Dif. Del Suolo, n°5.
- SHEPARD F. P. (1954) *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. Sedim. Petrol., n°24, pp. 151-158.
- STRAHLER A. N., (1957) *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans Am. Geophys. Un., 8, 913-920.
- VEGGI O. (1967) *Osservazioni preliminari sull'erosione del suolo nei dintorni di Atri*. Atti XX Congr. Geograf. Ital., Marzo-Aprile, 219-225.
- VITTORINI S. (1964) *La valutazione quantitativa dell'erosione nei suoli argillosi della Valle d'Era*. Atti XIX Congr. Geograf. Ital., vol. III, pp. 83-101.
- VITTORINI S. (1977) *Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme di erosione sulle argille: calanchi e biancane*. Boll. Soc. Geogr. It., n°10, pp. 25-51.
- VITTORINI S. (1979) *Ruscamento, deflusso ipodermico ed erosione nelle argille plastiche*. Riv. Geogr. It., n°86, pp. 338-347.





BIBLIOGRAFIA MINIMA

Riserva Naturale Regionale "CALANCHI DI ATRI"
Bibliografia generale di riferimento:

Marcello D'Anselmo (1999), *Atri centro storico, appunti verso progetti*, Edizioni Digiplan, Pescara

Enrico Trubiano, (2010), *Atri tra storia e arte*, Edizioni Zona Franca – La Cassandra Edizioni, Pineto (TE)

Piergiorgio Maria Cipollini, *Atri turistica – La regina delle colline*, Edizioni hatria, Atri (TE)

Regione Abruzzo (2010), *Aree protette d'Abruzzo*, COGECSTRE Edizioni, Penne (PE)

Fondazione Cassa di risparmio della provincia di Teramo, 2001, *Dalla valle del Piomba alla valle del basso Pescara*, 2 volumi, Teramo

Maria Cristina Forlani, Lucio Zazzara, s.d., *Atri, Loreto, Penne, Centri storici per una alternativa ambientale*, fotografie di Paolo Colacito, Francesco Summa, Ivano Villani, Azienda Autonoma Soggiorno, Ente Provinciale per il turismo, Pescara

Ricci F., de Sanctis A., (2004), *Studio della dinamica temporale del paesaggio della riserva dei calanchi di Atri tramite foto aerea*, WWF.

