



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

“Studio generale per la definizione delle Linee Guida regionali per la realizzazione degli interventi di riassetto idrogeologico con tecniche di Ingegneria Naturalistica”

RELAZIONE

10 DICEMBRE 2010



IRIS sas
Ing. Maurizio Bacci
Amministratore e direttore tecnico

CRITERIA srl
Arch. Paolo Falqui
Amministratore e direttore tecnico

Gruppo operativo di lavoro

Ing. Amb. Maurizio Bacci (coordinatore)	Dott. Nat. Mauro Casti
Prof. Gianluigi Bacchetta	Dott. Geol. Maurizio Costa
Arch. Paes. Gianfranco Franchi	Dott. Geol. Alessandro Forci
Dott. Agr. Maria Grazia Marras	Dott. Andrea Soriga
Dott. Geol. Giovanni Tilocca	

LINEE GUIDA INGEGNERIA NATURALISTICA REGIONE SARDEGNA

INDICE

1 Introduzione.....	9
1.1 Premessa.....	9
1.2 Oggetto delle linee guida: Interventi per la riduzione del rischio idrogeologico.....	11
2 Inquadramento regionale.....	12
2.1 Premessa.....	12
2.2 Inquadramento paesaggistico-ambientale del territorio sardo	13
2.2.1 Fattori geologici regionali	13
2.2.2 Fattori bioclimatici e geobotanici	17
2.2.3 Fattori antropico-culturali	24
2.3 Problematiche di dissesto connesse	26
2.3.1 Dissesto idrogeologico.....	26
2.3.2 Degrado ambientale	28
2.3.3 Degrado antropico-culturale.....	31
2.4 Normative di interesse nei settori coinvolti, quadro pianificatorio e contesto amministrativo.....	32
2.4.1 I progetti e le opere di IN nel contesto normativo nazionale.....	32
2.4.2 Il quadro normativo regionale.....	36
2.4.3 Quadro normativo e convenzioni sulla tutela della biodiversità alla scala comunitaria e nazionale.....	44
3 Prima dell'applicazione dell'IN.....	49
3.1 Prevenzione del rischio idrogeologico.....	49
3.1.1 Principi fondamentali	49
3.1.2 Aspetti pianificatori	51
3.2 Significato e principi applicativi dell'IN.....	52
3.2.1 Premessa e definizione di IN.....	52
3.2.2 Principi dell'IN.....	53
3.2.3 Altre definizioni che possono interessare l'IN.....	54
3.3 Presupposti all'applicazione dell'IN e alla scelta delle tecniche	57

3.3.1 Criteri in termini di qualità.....	59
4 Problematiche applicative dell'IN in Sardegna	63
4.1 Introduzione.....	63
4.2 Limiti intrinseci alla tecnologia (campo di applicazione)	64
4.3 Condizionamenti e limiti all'applicazione dell'IN in Sardegna	64
4.3.1 Generalità.....	64
4.3.2 Geologia, idrogeologia e pedologia	65
4.3.3 Idrologia e idraulica	67
4.3.4 Qualità delle acque.....	68
4.3.5 Condizioni climatiche.....	68
4.3.6 Sviluppo dei vegetali.....	69
4.3.7 Biotecnica.....	70
4.3.8 Impatto ambientale e tutela degli habitat	70
4.4 Limiti di mercato.....	72
4.4.1 Premessa.....	72
4.4.2 Approvvigionamento dei vegetali vivi.....	72
4.4.3 Approvvigionamento dei materiali morti.....	75
4.4.4 Disponibilità di mano d'opera specializzata.....	75
4.4.5 Disponibilità di tecnici esperti	75
4.5 Limiti socio-economico-culturali.....	76
4.5.1 Antropizzazione e uso del suolo.....	76
4.5.2 Fattori giuridico-amministrativi.....	76
4.5.3 Fattori culturali.....	77
4.5.4 Mercato e opere pubbliche.....	78
5 Applicabilità dell'IN nei contesti territoriali regionali	79
5.1 Opere significative con impiego di materiali naturali realizzate In Sardegna	79
5.2 Inquadramento dei contesti territoriali	86
5.3 Applicabilità dell'IN nel territorio sardo e nei singoli contesti applicativi	88
5.3.1 Possibilità applicative dell'IN in Sardegna.....	88
5.4 Problematiche riferite ai contesti applicativi.....	91

5.5	Analisi sul campo.....	107
5.5.1	Localizzazione cartografica dei siti rappresentativi visitati	108
5.6	Screening e selezione dei siti rappresentativi.....	110
5.6.1	Premessa.....	110
5.6.2	Elenco dei siti rappresentativi visitati	110
5.6.3	Schede di caratterizzazione dei siti (ALLEGATO 2)	135
6	Applicazione dell'ingegneria naturalistica: linee guida tecniche	139
6.1	Le specie vegetali.....	139
6.1.1	Premessa.....	139
6.1.2	Le specie vegetali potenzialmente applicabili nei diversi contesti.....	142
6.2	Materiali diversi dai vegetali vivi.....	148
6.3	Le tecniche di IN per la Sardegna.....	153
6.3.1	Premessa.....	153
6.3.2	Elenco delle tecniche.....	153
6.3.2	Elenco delle tecniche.....	153
6.4	Indicazioni per la fase esecutiva.....	155
6.4.1	Premessa.....	155
6.4.2	Criteri per i capitolati speciali d'appalto.....	155
6.4.3	Realizzazione.....	157
6.4.4	Cantieristica.....	158
6.4.5	Cantieristica e ambiente	159
6.5	Descrizione delle opere di IN.....	160
6.5.1	Applicazione delle tecniche nei contesti ambientali.....	160
6.5.2	Schede tecniche-illustrative delle opere di IN (ALLEGATO 3).....	160
6.5.3	Analisi dei costi (ALLEGATO 4)	161
6.6	Cenni sulla manutenzione degli interventi di IN.....	162
6.6.1	Premessa.....	162
6.6.2	Definizione e classificazione della manutenzione.....	162
6.6.3	Principi e caratteristiche della manutenzione delle opere di IN	163
7	Programmazione e progettazione delle opere di IN.....	169
7.4	Premessa.....	169

7.5 Criteri per l'individuazione delle priorità di intervento (fase programmatica)	170
7.5.1 Analisi della necessità e fattibilità d'intervento	179
7.5.2 Inquadramento del problema e delle soluzioni	179
7.5.3 Programmazione del lavoro	181
7.6 Raccolta dati preliminare.....	184
7.6.1 Premessa.....	184
7.6.2 Raccolta documentazione.....	184
7.6.3 Studi e rilievi preliminari.....	189
7.7 Studi e rilevamenti di dettaglio.....	190
7.7.1 Premessa.....	190
7.7.2 Rilievi topografici.....	191
7.7.3 Analisi di carattere abiotico	192
7.7.4 Analisi di carattere biotico	194
6.3.3 Applicazione al territorio sardo	197
7.7.5 Analisi dei fattori antropico-culturali	199
7.8 Contenuto della Progettazione.....	200
7.8.1 Criteri generali e aspetti giuridici	200
7.8.2 Progettazione preliminare	202
7.8.3 Progettazione definitiva ed esecutiva	204
7.8.4 Piano di manutenzione	208
7.8.5 Piano di sicurezza	209
7.8.6 Studio di fattibilità ambientale (o di impatto ambientale, ove richiesto).....	209
7.9 Affidamento delle prestazioni.....	210
7.9.1 Attività tecniche.....	210
7.9.2 Appalto lavori.....	211
8 Sviluppo e promozione dell'IN.....	212
8.4 Azioni per favorire l'applicazione, la diffusione e la qualificazione dell'IN	212
8.4.1 Premessa.....	212
8.4.2 Formazione e aggiornamento	212
8.4.3 Progetti pilota.....	215
8.4.4 Convegnaistica e pubblicistica	215
8.5 Monitoraggio per verifica e taratura interventi	216
8.5.1 Premessa.....	216

8.5.2	Criteria per il monitoraggio degli interventi	216
8.5.3	Aggiornamento e integrazione alle Linee Guida.....	226
9	<i>Cenno alle opere di ingegneria civile mitigate</i>	227
9.4	Premessa.....	227
9.5	Elenco delle opere.....	228
9.6	Progettazione e realizzazione.....	228
10	<i>Bibliografia citata</i>	230
11	<i>Ulteriore documentazione utile</i>	235
12	<i>Allegati</i>	237

1 Introduzione

1.1 Premessa

La trattazione del presente lavoro deriva dall'elaborazione della proposta metodologica, presentata al Servizio Difesa Suolo della Regione Sardegna in fase di impostazione dello studio e quindi messa a punto e concordata con lo stesso Servizio, nonché dai sopralluoghi effettuati, dagli incontri e scambi di opinioni fra i membri del gruppo di lavoro e con il suddetto ufficio regionale e, infine, da ricerche bibliografiche, contatti con esperti e estrapolazioni dalle esperienze svolte nel campo da parte del gruppo di lavoro stesso.

Si ribadiscono i principi fondamentali ai quali il lavoro ha fatto riferimento:

- lo studio è partito dall'analisi del territorio e dell'ambiente regionale, anche attraverso sopralluoghi sul campo, ovvero analisi delle situazioni significative riscontrabili nell'ambito regionale, nonché del quadro di riferimento pianificatorio e normativo in essere;
- il suo svolgimento si è basato sulla continua interazione e sul confronto fra le diverse competenze, in quanto le tematiche coinvolte sono fortemente caratterizzate dalla multicriterialità degli argomenti e dei problemi e quindi sull'interdisciplinarietà;
- prima dell'applicazione delle tecniche di ingegneria naturalistica (IN), si trattano le azioni preventive per la riduzione delle cause del dissesto idrogeologico;
- oggetto prioritario della trattazione (cioè dell'applicazione delle tecniche di IN) sono infatti le problematiche di dissesto idrogeologico che determinano condizioni di rischio;
- obiettivo delle linee guida è la descrizione delle tecniche di IN, intese come "tecniche verdi", come si spiegherà nel seguito, e l'orientamento alla loro applicazione sul territorio sardo;
- ogni fase di lavoro e ogni trattazione, prima della stesura definitiva dei documenti previsti, è stata discussa e verificata con i tecnici preposti del Servizio Difesa del Suolo.

Una volta trattati gli argomenti sul piano tecnico, lo Studio si propone di individuare un percorso efficace per rendere operative le linee guida (sviluppo e promozione delle stesse).

Infine, si propone una descrizione sommaria di alcune opere di ingegneria civile tradizionale che è possibile "mitigare" con materiali vegetali, in quanto, sebbene esse non facciano parte delle tecniche di IN, presentano alcune affinità a quest'ultime e possono trovare applicazioni utili nel conteso territoriale e operativo.

Si fa inoltre presente che in questo elaborato non sono stati trattati argomenti relativi alle scienze di base, pur essendo fondamentali per gli studi e la progettazione delle opere di IN, in quanto fanno

già parte del patrimonio culturale e formativo canonico delle diverse professionalità e quindi sono largamente documentate e reperibili (ad es.: modellazione idrologico-idraulica, geotecnica, geomorfologia, botanica, idraulica-forestale, ecc.). Si è ritenuto invece utile presentare alcuni dettagli tecnici e costruttivi come esemplificazione delle tecniche di base, anche se già ampiamente descritti nei manuali e nelle linee guida istituzionali, di cui si darà indicazione bibliografica e di reperibilità. In questo modo, oltre a evitare inefficienti ripetizioni che potrebbero peraltro indurre a confusione, si ottiene un documento più snello, di facile lettura, lasciando all'utente la facoltà di gestirne l'integrazione come ritiene opportuno e a seconda delle esigenze applicative.

Tuttavia, si tenga presente che, essendo l'IN basata sia sull'applicazione di tecniche consolidate sia sul loro adattamento alle specificità territoriali, le presenti linee guida sono focalizzate su quest'ultimo aspetto, mentre per quanto concerne le parti tecnologiche possono trovare integrazione nei suddetti manuali istituzionali. I concetti e le specifiche qui contenute sono da considerarsi restrittivi o sostitutivi rispetto a quelli contenuti nei suddetti manuali o rispetto a quanto trattato per altri contesti applicativi.

Inoltre, in queste linee guida abbiamo fissato concetti e definizioni che non sempre coincidono con quelli riportati negli altri manuali. Tali differenze non si ritiene debbano essere considerate delle incongruenze, ma piuttosto una naturale conseguenza del processo di progressiva evoluzione dei contenuti tematici, correlato anche alla maturazione del campo disciplinare, nonché della specifica prospettiva, assunta dal presente documento, maggiormente calibrata rispetto alla realtà e alle esigenze del territorio sardo. In particolare, l'elenco delle tecniche di IN qui definito risulta un sottoinsieme rispetto a quello fissato dalle linee guida PODIS (MATT, 2005). Nella lettura delle specifiche tecniche costruttive illustrate in quest'ultime, si dovranno pertanto considerare solamente le tecniche di IN elencate nel presente lavoro.

Infine, si è ritenuto opportuno evitare di proporre schemi rigidi per l'orientamento applicativo delle diverse tecniche in relazione alle problematiche, sia perché ciò sarebbe stato presuntuoso in una fase di prima applicazione pilota, sia perché la precisa scelta dipende da analisi approfondite da effettuarsi in sede progettuale e da scelte del progettista stesso che non possono essere stabilite a priori.

1.2 Oggetto delle linee guida: Interventi per la riduzione del rischio idrogeologico

L'IN è una classe di tecniche utili per soddisfare esigenze di stabilizzazione del suolo, tipicamente entro una profondità di circa 2-3 metri dalla superficie, e di protezione da azioni erosive. Le applicazioni possono quindi riguardare obiettivi svariati: riduzione del rischio idrogeologico,

creazione di biotopi e aree di rifugio per flora e fauna, corridoi ecologici e fasce vegetali, parchi e aree naturalistiche, bonifica di siti degradati, fitodepurazione, riqualificazione di aree urbane, mitigazione ambientale di opere, schermature, ecc.

Tuttavia, il presente studio, come richiesto dal bando e chiarito dal competente Servizio dell'Agenzia del Distretto Idrografico, è finalizzato prioritariamente alle problematiche di dissesto idrogeologico ove esse comportino condizioni di rischio e potenziale perdita di beni rientranti fondamentalmente nel campo di applicazione della difesa del suolo (ex L.183/1989 in D.lgs 152/2006). Non costituiscono quindi oggetto di trattazione specifica le applicazioni dell'IN ad altri fini. Tuttavia, giacché l'applicazione dell'IN consente anche vantaggi non indifferenti sul piano paesaggistico-ambientale, negli orientamenti applicativi vengono evidenziati tali benefici che dovranno far parte dei criteri di scelta.

Al di là dei contenuti strettamente tecnici, nelle varie parti del documento si è cercato inoltre di sottolineare come l'adozione delle tecniche di IN rappresenta il passaggio a un diverso tipo di approccio alla progettazione ambientale, non solo sotto l'aspetto puramente costruttivo, ma anche dal punto di vista economico e della sostenibilità ambientale. L'IN mira, infatti, alla realizzazione di manufatti che prevedono quantitativi minori, in senso assoluto, di materiali, ma esigono un'alta qualità degli stessi oltre che maggiori competenze da parte degli esecutori. Da ciò consegue che un'ampia diffusione di tali tecniche sul territorio regionale non solo comporta un miglior inserimento delle opere nel contesto ambientale, ma favorisce settori produttivi specifici (vivaiismo, produzioni forestali, materiali inerti locali, ecc.) e un miglior livello di qualifica dei tecnici e degli operatori.

2 Inquadramento regionale

2.1 Premessa

Applicare l'IN implica ricorrere a tecniche basate sull'utilizzo di materiali locali, soprattutto naturali. Affinché quindi esse siano efficaci, economiche, durevoli e poco impattanti, devono essere concepite in modo da integrarsi al meglio con il contesto paesaggistico-ambientale e in relazione alle specifiche problematiche cui devono far fronte. Ciò significa quindi che è imprescindibile conoscere in primo luogo sia il contesto di operatività sia gli obiettivi che gli enti preposti alla pianificazione e gestione intendono perseguire.

La conoscenza dell'ambiente in cui si opera è, infatti, di fondamentale importanza e tutti i passaggi del progetto, dall'individuazione delle priorità di intervento fino alla fase esecutiva, devono essere sviluppati attraverso un costante confronto tra i progettisti e gli esperti delle discipline ambientali e paesaggistiche .

L'attenzione alla naturalità dell'ecosistema è richiesta in particolare nelle situazioni ad elevata qualità ambientale e di maggior interesse conservazionistico, ma anche in situazioni di bassa naturalità o di scarsa qualità. Infatti, adottare buone pratiche progettuali permette di diffondere elementi di naturalità sul territorio e contribuisce a migliorare i paesaggi, così come prescritto dalla Convenzione Europea del Paesaggio approvata con Legge 14/2006. Altro importante aspetto da prendere in considerazione è quello relativo alla fruizione del territorio e alle relative esigenze, ovvero ai risvolti socio-economici. Infatti, oltre all'obiettivo di riduzione del dissesto e di miglioramento ambientale, oggi assumono spesso un ruolo primario, specialmente in un contesto regionale come quello sardo, anche le esigenze legate alla fruizione turistica, ricreativa e naturalistica.

Pertanto le condizioni ambientali della Sardegna, rispetto a buona parte delle regioni italiane dove finora sono state sviluppate esperienze di IN, sono caratterizzate da:

1. mediterraneità del clima - con riferimento soprattutto al rilevante e prolungato deficit idrico estivo in gran parte della regione, accompagnato da elevate temperature;
2. varietà dei contesti geolitologici, morfologici, geopedologici e geobotanici – con particolare riferimento a situazioni di pedogenesi poco evoluta o interrotta e diffusa rocciosità dei substrati;
3. effetto degli incendi sul suolo e sulla componente vegetale;
4. marcata dinamicità morfoevolutiva dei litorali.

Devono pertanto essere concepite tecniche e metodologie di IN specificamente orientate e calibrate, risultando del tutto inadeguata la proposizione diretta di esperienze di intervento studiate e maturate in contesti pedoclimatici, geolitologici e vegetazionali differenti, come quelli tipici dell'Italia settentrionale e centrosettentrionale.

2.2 Inquadramento paesaggistico-ambientale del territorio sardo

2.2.1 Fattori geologici regionali

I lineamenti geologici del territorio sardo sono stati già da tempo esaurientemente illustrati in lavori scientifici di sintesi (Cocoza et al., 1974, Carmignani et al., 2001), a cui si rimanda per i necessari approfondimenti, nei quali sono stati considerati i numerosissimi lavori pubblicati sulla geologia dell'Isola dalla seconda metà del 1800 ai giorni nostri. Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici l'opera fondamentale rimane quella del geografo francese Pelletier (1960), alla quale si rinvia il lettore per una descrizione completa delle forme del rilievo della Sardegna.

Ai fini delle presenti linee guida assumono una particolare rilevanza i seguenti fattori:

1. le litologie
2. l'assetto tettonico
3. l'evoluzione geomorfologica (in particolare quella posteriore all'ultimo glaciale)
4. l'assetto morfoclimatico attuale.

Il contributo delle litologie si esplica attraverso la decisa prevalenza di termini coesivi e fra questi quelli lapidei sono di gran lunga maggioritari sui restanti. I litotipi sciolti o poco coerenti in generale sono rari in relazione alla varietà litologica dell'Isola e limitati in gran parte ai termini pleistocenici e olocenici, per lo più rilevabili nelle piane costiere e nelle grandi conoidi terrazzate che orlano il Campidano, con più rari esempi nelle formazioni sedimentarie e vulcaniche terziarie. Possono tuttavia incrementare nel caso in cui le rocce originarie subiscano particolari processi di alterazione (es.: arenizzazione delle granodioriti e dei monzograniti; alterazione ed argillificazione delle lave andesitiche e delle piroclastiti in Logudoro).

L'assetto tettonico è responsabile della suddivisione in prismi di varia gerarchizzazione che nella tabella successiva sono stati schematicamente riassunti in *Horst orientale*, *Horst occidentale* e *Fossa Sarda*. In particolare si evidenzia il ruolo della tettonica multifase terziaria e tardo terziaria che in parte riprende le grandi geometrie e i motivi orogenetici precedenti; essa è in tal modo responsabile su molti fronti, sia a nord (Gallura, Anglona, Logudoro, Goceano) che al centro (Baronia, Barbagia, Barigadu, Sarcidano) che al sud (Iglesiente, Sulcis, Cixerri, Marmilla) dell'articolazione delle morfostrutture e della limitatezza delle piane costiere ancora decisamente immature, così come immaturo appare buona parte del rilievo, con estesi tratti a forte energia a

causa dei gradienti clivometrici che si determinano (Ogliastra, Sarrabus, Baronia, Gallura, Capoterra, Sulcis).

Per schematizzare si riporta la seguente tabella:

Horst orientale		Horst occidentale		Fossa Sarda	
Litologia	Età	Litologia	Età	Litologia	Età
Metamorfiti	Pre Carbonifero	Metamorfiti	Pre Carbonifero	Conglomerati	Miocene
Granitoidi	Carbonifero	Granitoidi	Carbonifero	Andesiti Icnimbriti riolitiche e Vulanoclastiti	Miocene
Conglomerati	Permiano	Arenarie, Conglomerati gessi, dolomie	Permo-Trias	Epiclastiti, calcari e selci lacustri	Miocene
Rioliti	Permiano	Calcari	Giurassico e Cretacico	Conglomerati marini	Miocene
Conglomerati	Giurassico	Marne	Cretacico	Calcareniti, Calcari e Marne	Miocene
Calcari-Dolomie	Giurassico	Porfiriti	Oligocene	Conglomerati	Pliocene
Icnimbriti riolitiche e Vulanoclastiti	Miocene	Calcari lacustri e conglomerati	Miocene	Basalti e Rioliti	Pliocene
Calcari e Calcareniti	Miocene	Piroclastiti	Miocene	Basalti	Pleistocene
Conglomerati	Pliocene				
Basalti	Pleistocene	Conglomerati	Miocene	Facies varie (Arenarie e conglomerati prevalenti)	Pleistocene e Olocene
Facies varie (Arenarie e conglomerati prevalenti)	Pleistocene e Olocene	Calcareniti, Calcari e Marne	Miocene		
			Facies varie (Arenarie e conglomerati prev.)	Pleistocene e Olocene	

Schema stratigrafico principali litologie rilevabili all'interno d. macrostrutture tettoniche d. Sardegna (da Tilocca et al., 2002)

Il progetto I.F.F.I nell'isola (R.A.S. - Assessorato della Difesa dell'Ambiente & A.P.A.T., 2006), fornisce un'importante serie di dati utili a descrivere gli ambiti delle aree in frana. Esso, di conseguenza, consente di estrapolare una ricca casistica di contestualizzazioni nei vari ambienti fisici di riferimento. Un ulteriore contributo può essere offerto dalle esperienze derivanti dall'applicazione della misura 1.3 del POR Sardegna. Entrambi hanno dimostrato fino ad oggi la prevalenza delle fenomenologie di crollo su tutte le restanti. Tra i fattori fisici che condizionano in tal senso la tipologia dei dissesti sono da annoverare:

- l'estrema fratturazione dei litotipi granitoidi che contraddistinguono buona parte del basamento paleozoico della Sardegna;

- l'im maturità geomorfologica dei rilievi anche a quote relativamente modeste;
- centinaia di chilometri di fronti instabili e attivi lungo tutte le cornici della gran parte delle formazioni geologiche in giacitura sub-orizzontale di età post-paleozoica.

In tale quadro si può ritenere che l'IN applicata alla risoluzione dei dissesti dei versanti, almeno nei termini attuali, possa fornire un contributo importante ma complementare, utile, al contenimento dei fenomeni erosivi e al reinserimento ambientale e paesistico più che alla stabilizzazione vera e propria.

Ovviamente nelle situazioni di frane su terre, su suoli e quindi non su rocce a nudo, né su blocchi prismatici instabili, ci si potrà accostare all'impiego di soluzioni naturalistiche in modo più tradizionale, ma sempre tenendo ben presenti l'incidenza delle variabili geo-pedologiche e climatiche locali. È questo per esempio il caso di dissesti su corpi geologici naturalmente stabilizzati originati da movimenti di frana antichi (paleofrane) e non ancora del tutto diagnosticati, che tendono spesso per la loro costituzione litologica (limi e argille con inclusi lapidei) a diventare localmente instabili (Anglona, Logudoro, Marmilla).

E' importante inoltre analizzare le aree percorse da incendi dove si possono innescare erosioni del suolo quasi sempre irreversibili, al fine di fissare dei protocolli d'intervento mirati.

Inoltre, uno degli ambiti dove resta ancora un largo margine di miglioramento è rappresentato dalle numerose trincee stradali, ricavate in assenza o carenza degli opportuni approcci geologici e geotecnici.

Per quanto riguarda le criticità idrauliche, è del tutto evidente che uno dei fattori più rilevanti dal punto di vista idrologico è costituito dal regime torrentizio, mentre sul piano geomorfologico non può sottacersi la forte incidenza dei gradienti e la limitatezza delle piane alluvionali. Sul piano strettamente idrogeologico-sedimentologico invece un tema assai rilevante è dato dal carico solido dei torrenti e di larga parte dei fiumi. Questa problematica non è stata fino ad oggi affrontata in Sardegna, tanto meno a scala di intero bacino, anche a causa dell'assunto troppo sbrigativo, derivato dalla storica analisi degli invasi, secondo cui, poiché la loro tendenza ad interrarsi è trascurabile, altrettanto può assumersi nei riguardi del trasporto solido. Quest'ultimo è dunque sempre stato considerato limitato e quindi sempre piuttosto trascurato nell'analisi dei processi e dei fenomeni idrologici. I fatti dimostrano che non è così, con riferimento sia alla rete minore a bassa gerarchizzazione (sulla quale gravano le crescenti tendenze erosive sul territorio, derivanti da vari fattori: incendi, impiego massiccio dei mezzi meccanici e, come detto, da un sostanziale stato di anarchia relativo alla pratica del *rittochino*) che a quella maggiore dei tratti di piana alluvionale ad alta gerarchizzazione e che il contributo dei sedimenti nelle dinamiche fluviali appare assai consistente durante le piene, in particolare nella rete tributaria del Mar Tirreno. Ciò trova origine sia nel ringiovanimento del rilievo orientale dell'isola, sia nell'assetto geolitologico dei

substrati e delle coperture che rende i bacini e gli alvei dell'Ogliastra - Sarrabus (Riu Pramaera, Riu Foddedu, Riu Pelau, Riu Pardu-Riu San Giorgio-Flumini Durci, Riu Flumi Uri, Riu Picocca, Riu Cor'e Pruna, Flumendosa etc.) e del Sulcis (Riu Gutturu Mannu, Riu Gutturreddu, Riu Santa Lucia, Riu San Gerolamo, Riu Masone Ollastu, Riu Foxi de Sali-Palaceris, Riu Mannu di Pula, Riu di Chia, etc.) molto affini per caratteristiche idrologiche e geomorfologiche a quelli delle fiumare calabresi.

Infine va sottolineato il fatto che la tendenza erosiva dei bacini a monte e l'immatùrità delle piane di valle costiera trovano conferma nei recenti dati topografici della rete idrografica principale, provenienti dal P.S.F.F. Questi rivelano con sistematicità una condizione fino ad oggi poco conosciuta e non considerata, ovvero che buona parte dei tratti terminali delle aste idrografiche (ivi comprese, com'è ovvio, le lagune) siano disposti a quote negative, cioè abbiano talweg al di sotto del livello medio del mare. Cosa questa che fa ammettere come tali tratti non possano non tendere a sovralluvionarsi in mancanza d'interventi di manutenzione.

Tutti questi elementi devono, quindi, far ritenere decisivo e irrinunciabile l'obiettivo che la naturalizzazione degli alvei debba fare i conti anche con:

- un'oculata gestione dei sedimenti per la garanzia degli equilibri idro-geomorfologici sia della rete idrografica che dei litorali che sottendono i bacini,
- un'attività di conservazione messa in atto con approcci contestualizzati e diversi a seconda che il tratto idrografico o di versante si collochi su fisiografia di monte o di piana.

In tal senso varrebbe la pena di codificare tutta la casistica relativa all'impiego di soluzioni con briglie selettive.

2.2.2 *Fattori bioclimatici e geobotanici*

Per quanto riguarda gli aspetti climatici, la Sardegna rientra nella tipologia generalmente classificata come clima "mediterraneo interno" (Chessa & Delitala, 2007). Questo è caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Inoltre, dato che il bacino del Mediterraneo rappresenta una fascia di transizione tra le zone tropicali e quelle temperate, il suo clima è caratterizzato sia da sensibili variazioni stagionali nelle precipitazioni, tipiche delle aree africane, sia da ampie oscillazioni nelle temperature, caratteristiche del continente Europeo.

Per quanto riguarda la bioclimatologia è stato adottato il sistema di classificazione proposto e successivamente adeguato da Rivas-Martínez et al. (1999, 2002) e da Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2009). Secondo tale classificazione il territorio sardo ricade nei macrobioclimi mediterraneo e temperato, quest'ultimo nella variante submediterranea. Considerando le serie storiche dei dati termopluviometrici, il primo è caratterizzato fondamentalmente da un periodo di aridità estiva che si protrae per almeno 60 giorni a partire dal solstizio d'estate, definendo come periodo di aridità quello caratterizzato da un valore medio mensile della temperatura (in gradi centigradi) superiore al doppio del valore delle precipitazioni (esprese in mm).

Nelle aree temperate il periodo arido ha una durata inferiore. All'interno del macrobioclima mediterraneo sono presenti il bioclima mediterraneo pluvistagionale oceanico e quello xerico oceanico. Il primo interessa gran parte dei territori costieri e collinari, mentre quello xerico oceanico appare limitato alle aree costiere occidentali del Sulcis, comprese tra la linea di costa e le isole dell'Arcipelago Sulcitano (Golfo del Palmas). Nell'ambito del bioclima mediterraneo pluvistagionale oceanico si riconoscono termotipi variabili dal termomediterraneo inferiore al supramediterraneo superiore e ombrotipi compresi tra il secco inferiore e l'umido inferiore. Riguardo al bioclima xerico oceanico sono attualmente noti solo un termotipo termomediterraneo inferiore ed un ombrotipo semiarido superiore. Il macrobioclima temperato in variante submediterranea è limitato alle aree montane dell'interno ed in particolare alle parti più elevate delle catene montuose del Marghine-Goceano, Montiferru, Limbara, Gennargentu, della Barbagia di Ollolai e del Mandrolisai. I termotipi sono compresi tra il mesotemperato inferiore e il supratemperato superiore, ombrotipi tra il subumido superiore e l'umido superiore. Viene evidenziato, infine, che l'orotemperato inferiore, presente solo a livello topografico, si rinviene esclusivamente nelle aree cacuminali del Gennargentu, dove puntualmente si arriva ad avere anche ombrotipi iperumidi inferiori.

Allo stato attuale non si conosce esattamente il numero delle unità tassonomiche che costituiscono la flora sarda e non esiste una monografia aggiornata. L'ultima opera di tale tipo, infatti, risale alla fine del diciannovesimo secolo (Barbey, 1885). Numerosi autori, precedentemente al Barbey e successivamente, hanno intrapreso analisi di tale tipo, senza però giungere alla pubblicazione di un'opera completa.

In Flora Europaea, Tutin et al. (1964-80) riportano per la Sardegna 1768 taxa, mentre Pignatti (1982) in Flora d'Italia ne annovera 2013. Bocchieri (1986) ne cita 2054 considerando anche i taxa riportati in Ferrarini et al. (1986). Infine la Check-list della Flora Vascolare Italiana (Conti et al., 2005) attribuisce alla Sardegna una flora composta da 2.407 entità. L'ultimo aggiornamento di tale checklist per i territori italiani (Conti et al., 2007), conferma la presenza di 2.494 unità tassonomiche per i territori isolani. Le 291 entità della flora sarda indicate nelle liste rosse regionali delle piante d'Italia (Conti et al., 1997) sono così ripartite secondo le categorie IUCN: 5 EW, 39 CR, 41 EN, 69 VU, 119 LR, 17 DD e 1 NE.

L'elemento corologico dominante risulta quello circum-mediterraneo (29%), seguito dall'euroasiatico (17%) e da quello euromediterraneo (16%) (Pignatti, 1994). Il contingente endemico è rappresentato secondo Arrigoni et al. (1977-1991) da 202 entità di cui circa 60 in comune con la Corsica. Recentemente Conti et al. (2005) indicano 243 endemiche, pari a circa il 10% della flora sarda, mentre Bacchetta et al. (2005) hanno censito per l'Isola 347 endemismi.

Gli elementi storico-genetici della flora della Sardegna indicano la sua appartenenza alla regione biogeografica mediterranea (Rivas-Martínez et al., 2001), alla subregione mediterranea occidentale, alla superprovincia Italo-Tirrenica e alla provincia sardo-corsa (Ladero Alvarez et al.,

1987; Bacchetta & Pontecorvo, 2005). Il riconoscimento di una provincia biogeografica autonoma è basato su un elevato contingente di entità endemiche esclusive delle due isole, tra le quali i due generi monotipici *Morisia* Gay e *Nananthea* DC. Un'altra caratteristica importante della flora sarda è la presenza di un contingente di specie differenziate in epoche remote, come *Centaurea horrida* Badarò, *Bellium crassifolium* Moris e *Helichrysum montelinasanum* Em. Schmid. La presenza di ben 154 endemismi esclusivi di rango specifico, sottospecifico e varietale, consente di individuare una subprovincia sarda e, al suo interno, in base alla distribuzione delle endemiche ad areale ridotto, di serie di vegetazione endemiche sarde, dei differenti elementi fisiografici (geomorfologici, litologici e pedologici) ed ecologico-ambientali (climatici, bioclimatici, ecosistemici), settori biogeografici che sono stati solo in parte definiti (Bacchetta et Pontecorvo, 2005; Bacchetta et al., 2007; Fenu & Bacchetta, 2008; Angius & Bacchetta, 2009).

In relazione ai piani bioclimatici, alla morfologia e alle diverse litologie si possono distinguere in Sardegna diverse tipologie di paesaggio vegetale. Anche se il territorio è prevalentemente montuoso le quote medie dell'Isola sono piuttosto modeste (334 m s.l.m.) e non sono presenti vere e proprie catene montuose ma massicci di limitate estensioni, separati da altopiani o da pianure che dividono l'Isola in grandi settori di diversa altitudine.

L'esame dei caratteri fisici dell'Isola consente di riconoscere l'esistenza di alcune grandi regioni lito-geomorfologiche che hanno una notevole rilevanza anche dal punto di vista del paesaggio vegetale e storico-culturale (Mori, 1966). A seguire, da Nord-Est in senso orario tali sub regioni vengono descritte per quanto concerne in particolare il paesaggio vegetale.

La Gallura costituisce il settore nord-orientale dell'Isola. Il Limbara è il principale massiccio montuoso, costituito da un insieme compatto di rilievi granitici, che scendono ripidi verso sud, mentre poggiano a nord sull'altopiano di Tempio. La vetta più elevata è Punta Balestrieri (1362 m s.l.m.). A sud-ovest di questi rilievi si estende l'altopiano di Buddusò, Alà dei Sardi e Bitti, e ancora più a sud quelli del Nuorese e di Fonni. In questi settori le sugherete dominano nelle zone pianeggianti o leggermente acclivi, da pochi metri sul livello del mare fino a 800-1000 metri. La loro diffusione è stata fortemente potenziata dall'uomo per effetto del taglio selettivo e dell'incendio. La sughera costituisce formazioni pure o miste con leccio o querce caducifoglie, aperte e luminose, che si differenziano in rapporto alla quota e quindi alle condizioni bioclimatiche. Nello strato arbustivo sono presenti: *Cytisus villosus*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea* e numerosi altri taxa calcifughi quali *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Lavandula stoechas* e *Teline monspessulana*. Lungo i versanti e nelle aree con rocce affioranti prevalgono invece le leccete. In questi settori sono presenti diverse tipologie di leccete che, man mano che si sale di quota, si arricchiscono di elementi mesofili, come *Ilex aquifolium*, *Sanicula europaea* e *Polystichum setiferum*. Scendendo di quota compaiono e diventano dominanti le specie termofile, quali *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus* e *Prasium majus*. Soltanto alle quote più elevate e in situazioni di colluvio si rinvengono boschi di querce caducifoglie in aree molto limitate.

Ad est del Nuorese si estende la regione delle Baronie, caratterizzata da rilievi calcarei e scistosi, tra i quali spicca la dorsale calcarea del monte Albo che raggiunge, con punta Catirina, 1127 m di quota. Questa regione è caratterizzata dalla presenza di leccete calcifughe con *Erica arborea* e *Galium scabrum* sui substrati metamorfici, mentre sui calcari sono presenti leccete calcicole con *Rhamnus alaternus* alle quote più basse e *Acer monspessulanum* a quelle più elevate. I settori scistosi con morfologia pianeggiante sono occupati da sugherete, mentre quelli collinari, alle quote più basse, vedono la presenza di boscaglie ad *Olea europaea* var. *sylvestris*.

Il settore montuoso centrale è più compatto e formato da massicci allineati in senso meridiano. Vi si trova il gruppo montuoso più ampio ed elevato della Sardegna che si estende nella regione della Barbagia. Il complesso principale è il massiccio del Gennargentu nel quale si rinvengono le vette più alte dell'Isola (Punta La Marmora 1834 m s.l.m. e Bruncu Spina 1829 m s.l.m.) corrispondenti a filoni porfirici. Nei settori più elevati di questo massiccio montuoso si insediano microboschi dominati da *Juniperus nana* e garighe di quota in cui si trovano endemismi come *Genista pichi-sermolliana*, *Genista salzmanni*, *Thymus catharinae*, *Astragalus genargenteus*, *Ruta lamarmorae* e *Armeria sardoa* subsp. *genargentea*. Le aree montane e submontane sono caratterizzate dalla presenza di boschi a dominanza di querce caducifoglie ed in particolare di *Quercus ichnusae*, *Q. dalechampi* e *Q. congesta*. A quote più basse vi sono leccete talvolta con *Fraxinus ornus* e *Ostrya carpinifolia*. Nei settori più occidentali del Gennargentu, nelle aree più elevate dell'Ogliastra e ancor più nei territori della Barbagia di Belvì sono molto frequenti i castagneti in forma di boschi ceduati, alternati a boschi di querce caducifoglie e *Corylus avellana*.

I settori calcarei mesozoici del Supramonte e del Golfo di Orosei sono caratterizzati da formazioni casmo-comofitiche ad elevato tasso di endemismi esclusivi, tra i quali meritano d'essere ricordati: *Aquilegia nuragica*, *Armeria morisiana*, *Centaurea filiformis*, *Centranthus amazonum*, *Lactuca longidentata*, *Limonium morisianum*, *Ptychotis sardoa* e *Rhamnus persicifolius*. Il paesaggio vegetale è caratterizzato da tre diversi tipi di leccete calcicole che si susseguono nei piani fitoclimatici termo-, meso- e supramediterraneo.

Il settore a sud del Gennargentu, delimitato parzialmente dalla valle del Flumendosa, è caratterizzato da altopiani calcarei, detti "tacchi" e "tonneri", che poggiano sul basamento cristallino e sulle formazioni metamorfiche nelle regioni del Sarcidano, Barbagia di Seulo, Ogliastra e Quirra. In queste aree dominano le leccete e si rinvengono sovente cenosi boschive mesofile costituite a carpino nero, tasso e agrifoglio.

Più tabulare è la regione del Sarrabus - Gerrei, di media altitudine e compresa tra il basso Flumendosa ed il massiccio granitico dei Sette Fratelli (1023 m s.l.m.). In questa subregione si riscontrano ampie aree di ombra di piogge per effetto dei sistemi montuosi posti a nord, ovest e sud. Dominano i boschi e le boscaglie termoxerofile ad olivastro e filliree, i ginepreti edafoxerofili a *Juniperus oxycedrus* e, solo secondariamente, si riscontrano boschi di leccio e formazioni edafoigrofile costituite da oleandreti e, in aree limitate, da ontaneti e saliceti a *Salix purpurea*.

La regione geografica del Sulcis-Iglesiente, situata nella Sardegna sud-occidentale, rappresenta dal punto di vista strutturale un complesso geologico separato dal resto dell'Isola per mezzo del graben del Campidano. Essa è a sua volta divisa dal graben del Cixerri in due massicci, quello del Sulcis a sud e quello dell'Iglesiente a nord. Dal punto di vista geologico tali territori sono i più antichi dell'Isola: nella parte più meridionale del Sulcis si rinvencono, infatti, formazioni autoctone (Bithia e Monte Settiballas) risalenti probabilmente al Precambriano (Carmignani et al., 2001). Caratteristica peculiare di tali territori è la varietà di substrati. Nell'Iglesiente, dal punto di vista geolitologico, dominano le metaclastiti paleozoiche, ma sono ben rappresentate anche le formazioni granitiche del Carbonifero, i calcari e le dolomie paleozoiche, oltre alle vulcaniti del ciclo calcareo-oligo-miocenico. Le aree montuose più elevate sono quelle del massiccio del Monte Linas nell'Iglesiente, la cui cima più alta è Punta Perda de sa Mesa (1236 m). Ricordiamo anche le cime di Is Caravius (1113 m) e Monte Lattias (1086 m) nella parte centro-settentrionale del Sulcis. In entrambi i massicci dominano le formazioni a leccio che si rinvencono su tutti i substrati, dal livello del mare sino alle aree cacuminali (Fig. 2.1). Nelle zone più elevate queste si arricchiscono di *Ilex aquifolium* e *Acer monspessulanum*.

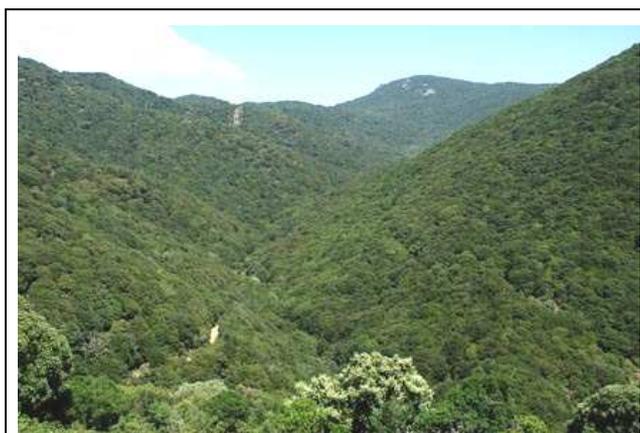


Fig. 2.1 - Lecceta nell'area della "Foresta Marganai"
Foto M. Casti

Tra il massiccio dell'Iglesiente e i rilievi sud-orientali si interpone l'ampia depressione del Campidano, una grande pianura alluvionale sul fondo della fossa tettonica che si estende dal Golfo di Oristano a quello di Cagliari, fiancheggiata ad est dalle colline mioceniche calcareo-marnose della Marmilla e della Trexenta.

A nord del Campidano domina l'edificio vulcanico trachitico plio-pleistocenico del Montiferru (1050 m) che si raccorda ai vasti tavolati basaltici di Campeda, della Planargia e di Abbasanta. In questi territori le ampie superfici tabulari sono occupate da sugherete mesofile e querceti caducifogli con *Malus dasyphylla*, *Teucrium scorodonia* e *Loncomelos pyrenaicum* alle quote più elevate. Sui versanti del Montiferru dominano tre tipi di lecceta in rapporto ai tre diversi piani fitoclimatici.

Procedendo verso settentrione in ampi settori del Logudoro, Mejjogu e Planargia, su tavolati vulcanici oligo-miocenici, prevalentemente ignimbrici, sono presenti vaste sugherete.

L'estremità nord-occidentale dell'isola è occupata dalla Nurra, costituita da substrati metamorfici paleozoici e da calcari mesozoici. Sui substrati metamorfici si sviluppa la vegetazione a *Juniperus turbinata* con *Euphorbia characias*, *Pistacia lentiscus* e *Rubia peregrina* subsp. *requieni*. Sui substrati calcarei dominano invece i ginepreti con *Chamaerops humilis*. Nella cintura costiera prossima alla falesia si verifica il contatto, prevalentemente catenale, con la vegetazione di gariga primaria a *Centaurea horrida*.

Ad est della Nurra si estendono i substrati calcarei e marnosi miocenici del Sassarese e del Logudoro. Le morfologie dominanti in questo settore sono i tavolati (ad altitudini medie di 100-300 m), profondamente incisi dal reticolo idrografico. Sui versanti settentrionali, su affioramenti marnosi o su suoli profondi di colluvio, dominano le formazioni miste di *Quercus ilex* con querce caducifoglie, *Fraxinus ornus*, *Viburnum tinus* e *Spartium junceum*. Sui tavolati e versanti esposti a sud, su litosuoli o in tasche di terre rosse sono presenti invece boschi di leccio con *Rhamnus alaternus* e *Pistacia lentiscus*.

Ad est e sud-est del Logudoro si sviluppa la catena del Marghine-Goceano, il più lungo e regolare allineamento montano dell'isola, che si eleva progressivamente fino al Monte Rasu (1258 m) ed è costituito prevalentemente da rocce vulcaniche acide oligo-mioceniche e scistose paleozoiche. Il paesaggio vegetale è dominato da mesoboschi di querce caducifoglie e *Acer monspessulanum*, *Glechoma sardoa* e *Paeonia corsica*. Solo in alcune aree del Goceano sono presenti leccete meso-supratemperate con *Ilex aquifolium*, *Sanicula europaea* e *Polystichum setiferum*. Sono inoltre presenti formazioni relittuali quasi pure a *Taxus baccata* e *Ilex aquifolium* in forre e impluvi a esposizione settentrionale (Badde Salighes, Sos Nibberos e Su Tassu).

Infine, tra il Sassarese, il Logudoro e la Gallura, è localizzata l'Anglona, costituita da un insieme di tavolati calcarei e vulcanici e depressioni impostate sulle più tenere litologie sedimentarie mioceniche in gran parte ascrivibili alla cosiddetta *formazione lacustre* Auct. In quest'area, molto eterogenea dal punto di vista litologico, si alternano formazioni boschive calcicole e acidofile. Tra le prime dominano formazioni miste di *Quercus ilex* con querce caducifoglie, *Fraxinus ornus*, *Viburnum tinus* e *Spartium junceum*; tra le acidofile le sugherete sui tavolati ignimbrici e i querceti caducifogli sui versanti andesitici.

Nei settori collinari sardi più prossimi alla fascia costiera si rinvengono microboschi misti a *Olea europaea* var. *sylvestris*, con numerosi elementi termofili. Su queste formazioni ha avuto un forte impatto l'attività agro-pastorale. Tra gli elementi tipici di questa fascia possiamo indicare *Quercus calliprinos*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Phillyrea angustifolia*, *Calicotome villosa* e *Asparagus albus*.

Il perimetro costiero della Sardegna e delle isole adiacenti si sviluppa per circa 1900 km. Le coste sono in gran parte alte e rocciose e hanno un andamento molto sinuoso. Le coste rocciose, che comprendono oltre i tre quarti dei litorali sardi, presentano una cospicua varietà di forme in rapporto alla grande diversità delle rocce che le compongono: graniti e metamorfiti, porfidi e calcari, trachiti e basalti. Il paesaggio della fascia costiera è caratterizzato dalla presenza di elementi termofili litoranei come *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*, *Chamaerops humilis*, *Pinus halepensis* ed *Euphorbia dendroides*, che costituiscono boscaglie e macchie seriali (Fig. 2.2). In particolare le pinete sono tutte concentrate nella parte sud-occidentale dell'Isola nell'Arcipelago Sulcitano e nella fascia costiera compresa tra Buggerru a nord e Porto Botte a sud. I ginepreti sono invece diffusi in tutta la fascia costiera e su tutti i substrati litologici.



Fig. 2.2 - Boscaglia litoranea a *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* nell'Arcipelago della Maddalena – Foto M. Casti

Alle coste rocciose si intercalano i litorali sabbiosi di varie dimensioni, la maggior parte dei quali corrispondono al fondo dei golfi più ampi (Asinara, Cagliari, Oristano e Palmas) e alle fronti delle pianure litoranee costruite dai fiumi. Il paesaggio delle dune costiere è dominato da specie psammofile quali *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* che caratterizza le boscaglie delle dune stabilizzate. Sulle dune grigie dominano *Crucianella maritima*, *Armeria pungens* ed *Ephedra distachya*, mentre *Ammophila littoralis* e *Agropyron junceum*, con l'endemica *Silene corsica*, caratterizzano le dune bianche ed embrionali.

Discorso a parte meritano le formazioni legate agli ambienti acquatici, siano essi d'acqua dolce o salmastra. Nelle aree costiere di tutta la Sardegna rivestono particolare importanza le formazioni alofile e alonitrofile caratterizzanti gli stagni, le lagune e i laghi salsi. Queste sono distribuite pressoché uniformemente su tutto il territorio, ma rivestono grande importanza nelle aree del Golfo di Oristano e in quello degli Angeli a Cagliari.

I corsi d'acqua e i bacini interni sono caratterizzati da una vegetazione diversificata in funzione della portata e del regime dei corpi idrici, del chimismo delle acque e dell'ossigenazione delle stesse. Nelle aree dove dominano i substrati non carbonatici i boschi sono prevalentemente

costituiti da *Alnus glutinosa*. Dove invece si ha sedimentazione massiccia e le acque perdono velocità si rinvengono boscaglie a *Salix purpurea* (Fig. 2.3). I pioppeti e i saliceti a *Salix alba* tendono a prevalere invece nelle aree carbonatiche o dove le acque divengono più eutrofiche. Boschi e boscaglie planiziali a *Populus alba*, *Fraxinus oxycarpa* e *Ulmus minor* si rinvengono anche in talune aree impaludate, specie nella Sardegna meridionale. Boscaglie e macchie a *Nerium oleander*, *Vitex agnus-castus* e *Tamarix* sp. pl. si rinvengono lungo i corsi d'acqua a regime torrentizio soggetti a periodi di secca prolungati. Tali formazioni tendono a rarefarsi nella parte settentrionale dell'Isola.



Fig. 2.3 - Boscaglia ripariale a *Salix purpurea* – Foto G. Bacchetta

2.2.3 Fattori antropico-culturali

Il paesaggio della Sardegna presenta particolarità articolate e complesse derivanti dalle caratteristiche geomorfologiche, dalle condizioni climatiche, dalla natura dei suoli ma anche dinamiche antropiche che hanno condizionato l'ambiente sardo.

La diversità delle forme fisiche, insieme ai caratteri del clima, ha condizionato l'insediamento e lo sviluppo della vegetazione e della fauna, incrementando la complessità del paesaggio. Ciò ha influito sulle forme ed i caratteri dell'insediamento umano che ha prodotto azioni per conquistare nuovi territori a scapito della copertura forestale, incanalando torrenti e impoverendo i suoli.

Il paesaggio è infatti un processo dinamico che si evolve attraverso l'azione delle sue componenti e, come conseguenza delle caratteristiche ambientali, l'insediamento umano ha assunto caratteri fortemente frammentati favorendo forme insediative diversificate.

Le trasformazioni avvenute negli ultimi cinquanta anni sul territorio regionale hanno prodotto alterazioni al paesaggio e la crescita economica ha provocato una riduzione delle risorse disponibili ed una degradazione degli ecosistemi (R.A.S. - Assessorato dei Lavori Pubblici, 2004).

L'introduzione della meccanizzazione dell'agricoltura nelle pianure e negli ambiti collinari ha prodotto abbandono delle colture montane e, come conseguenza, al passaggio, nelle aree di montagna, da un sistema economico agropastorale ad uno basato sulla pastorizia. Queste trasformazioni, tra agricoltura e pastorizia, hanno diffuso la pratica degli incendi boschivi, che hanno trasformato una vasta parte del paesaggio (R.A.S., 2004).

Nel corso del secolo scorso l'attività agricola e quella zootecnica hanno generato nel territorio della Sardegna una serie di segni paesaggisticamente rilevanti, riconoscibili nella trama di appoderamento e in quelli dell'ordinamento colturale.

La trama di appoderamento del tessuto agricolo leggibile nella particella catastale costituisce, insieme all'ordinamento colturale, la tessitura paesistica del territorio agricolo. La trama si visualizza nel territorio sardo in modo molto variato attraverso il cambio dell'ordinamento colturale, la presenza dei muretti a secco, i canali di irrigazione le siepi vive e i frangivento di diversa forma e composizione distinguendo quindi *campi aperti* e *campi chiusi*. I campi chiusi delimitati da muri a secco o siepi libere e frangiventi ospitano le coltivazioni arboree in particolare viti, olivi e agrumi, spesso in coltura specializzata o in coltura promiscua con altri fruttiferi. Le coltivazioni si estendono come nel caso degli oliveti anche nelle aree periurbane (corona olivetata di Sassari e Alghero, Sorso, Sennori, ecc.), quella della vite anche su territori collinari e montani su terrazzamenti (Bosa, Ierzu, Nuoro, Dorgali Oliena, ecc.), gli agrumi definiscono *giardini mediterranei* nelle aree più fertili e ricchi di acqua (Milis, valli di Sassari, Serramanna, Muravera, Villacidro, San Sperate, ecc.) l'ordinamento colturale prevalente dei campi aperti è quello dei seminativi che si estendono nelle pianure della Nurra, di Chilivani, della Trexenta e della Marmilla e del Campidano. Nella tessitura del paesaggio agrario si inseriscono quindi altri elementi: di carattere puntiforme gli insediamenti produttivi e abitativi dei *cuili* della Nurra, degli *stazzi* della Gallura dei *furriadroxius* del Sulcis e dei *bacilli* del Sarrabus, legati prevalentemente all'allevamento estensivo del bestiame che costituiscono le forme di insediamento diffuso storico ancora fortemente leggibili nel territorio, quelli di carattere estensivo sono i pascoli che si estendono in tutto il territorio regionale favorendo forme di allevamento estensivo e semintensivo in particolare di ovini.

I boschi più o meno governati con le sugherete, le formazioni di macchia mediterranea e gariga, e gli elementi geografici dei fiumi dei laghi e degli stagni con la vegetazione ripariale che apportano un'ulteriore caratterizzazione al territorio definendo oltre ai contenuti iconici anche quelli strutturali con riflessi fondamentali sul funzionamento ecologico del territorio.

L'identità della moltitudine dei paesaggi regionali risiede nella perdurante leggibilità del rapporto uomo-natura e delle relazioni che caratterizzano la Sardegna, in primo luogo quelle tra mondo contadino e attività pastorali. In questo quadro si sono affacciati prepotentemente, a definire nuovi paesaggi, lo sviluppo di fenomeni socio-economici legati alle attività turistiche ed all'offerta di insediamenti lungo le aree costiere. Questi processi, che hanno trasformato i paesaggi costieri e tuttora li stanno trasformando, producono forti contraddizioni tra necessità di salvaguardare le

risorse disponibili, utili anche alla sopravvivenza di una attività turistica in equilibrio con le risorse del luogo, ed esigenze di trasformazione attuate con l'occupazione e la distruzione di suoli.

Mentre per le aree interne l'abbandono dei territori agrari o dei pascoli, in molti casi, non manifesta situazioni di dissesto in quanto si manifestano evoluzioni verso la naturalità, nelle aree in trasformazione, soprattutto costiere, si manifestano potenziali fattori di rischio e predisposizione al dissesto a cui le tecniche di IN possono, a valle dei processi decisionali, portare contributi per migliorare la difesa dall'erosione e la qualità degli spazi antropizzati.

2.3 Problematiche di dissesto connesse

2.3.1 Dissesto idrogeologico

Sul tema, in termini ufficiali fanno fede i contenuti del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della R.A.S. - Assessorato dei Lavori Pubblici (2004). Il dissesto idrogeologico della Sardegna va tuttavia ben al di là di quanto perimetrato nelle Tavole del Pericolo e del Rischio. Si hanno molte ragioni per ritenere che nella realtà, alla luce delle metodiche assunte dalle Linee Guida del P.A.I., le aree di pericolosità geologiche e idrauliche siano ben maggiori in numero e in estensione, non fosse altro per il fatto che il P.A.I., oltre la tematica specifica del dissesto da erosione, trascura di esaminare gran parte delle aree cacuminali, i piccoli compluvi rurali e in genere esso presta più attenzione al riscontro di situazioni connesse con gli elementi socio-economici a rischio, in particolare gli insediamenti. Di tali approssimazioni del resto danno conto indirettamente le stesse Norme di Attuazione, che all'art. 26 istituiscono le "Aree a significativa pericolosità", intendendo con tale termine le aree pericolose non perimetrare nella cartografia di Piano e più precisamente, in campo idraulico:

- A. il reticolo minore gravante sui centri edificati;
- B. le foci fluviali;
- C. le aree lagunari e gli stagni;

in campo geologico:

- A. le aree a franosità diffusa, in cui ogni singolo evento risulta difficilmente cartografabile alla scala del P.A.I.;
- B. le aree costiere a falesia;
- C. le aree interessate da fenomeni di subsidenza.

Tuttavia al momento occorre rimarcare che le suddette aree:

- non sono state ancora perimetrare dai comuni così come disposto dall'Art. 8 comma 5 delle N.A. del P.A.I. (attualmente è in atto l'adeguamento dei P.U.C dei comuni costieri, al P.A.I. e al P.P.R. - Piano Paesistico Regionale-Assessorato degli EE. LL. FF. UU.;
- non risulta che, vi siano Comuni che abbiano dato corso per intero alla procedura, ovvero per quanto riguarda gli adempimenti derivanti dagli artt. 8 comma 2 e 26 delle Norme di Attuazione del PAI).

Inoltre nella stragrande maggioranza dei casi i Comuni, in sede di variante, propongono riduzioni di perimetrazione e di livello ma non ritengono (salvo rare eccezioni, per ora) di necessitare di incrementi; né è stato previsto dall'Autorità di Bacino che aree interessate da eventi calamitosi siano automaticamente assoggettate a disciplina di controllo del rischio.

Al momento, dunque, se da un lato appare giustificata la necessità dei Comuni di perfezionare il livello di dettaglio e di aderenza alla realtà delle loro perimetrazioni P.A.I., dall'altro indubitabilmente tale dinamica correttiva solo in riduzione non può non destinare ad una ulteriore sottovalutazione delle criticità idrogeologiche del territorio. Risultano infatti molto numerosi i casi di Comuni che in questi ultimi cinque anni pur avendone riscontri e necessità, non si sono attivati, per incrementare i livelli e le aree di pericolosità, a causa della severa disciplina vincolistica prescritta.

Parimenti, si ha modo di riscontrare una diffusa casistica di dissesti gravitativi lungo le arterie stradali, sia con riferimento alle trincee che ai segmenti "sottoscarpa". Non sempre infatti le progettazioni delle viabilità principali, soprattutto di quelle provinciali, sono dotate di sistemi (rispettivamente) di contenimento e sostegno adeguati e ciò comporta che alle piogge intense e/o prolungate si determinino sovente crolli di blocchi, colate detritiche e fluidificazioni di terre lungo le pertinenze, sia nelle strade di competenza provinciale che statale. Va anche detto che proprio in corrispondenza della viabilità stradale e ferroviaria si manifestano pericolosità geomorfologiche con eventi che a dispetto di una minore magnitudo generale assumono non di rado ricorrenza stagionale e pluristagionale, talora anche in aree esterne a perimetrazione P.A.I..

Va detto inoltre che una parte del dissesto strutturale di alcune aree di collina o di bassa montagna è connesso col crescente abuso di attività agronomiche a forte impatto sui versanti, in primo luogo la pratica del *rittochino*, peraltro non consentita dalle Prescrizioni di Massima di Polizia Forestale (D.A. Difesa dell'Ambiente, 23 Agosto 2006, n.24/CFVA), in caso di terreni con pendenza > 35% nelle aree sottoposte a vincolo idrogeologico. Tale condizione esponenzialmente legata all'introduzione prima e alla diffusione poi della meccanizzazione nelle attività agricole e agrozootecniche, ha letteralmente destabilizzato porzioni di territori un tempo prive di elementi di criticità sotto questo aspetto (ad esempio aree a graniti arenizzati un tempo stabili). La questione non è affatto secondaria in quanto la pratica del *rittochino*:

- costituisce fattore di desertificazione nelle aree a vocazione rurale;
- induce la generazione di un quadro geomorfologico a diffuse erosioni sui versanti;

- interagisce mediante i risultati erosivi con fenomeni di carattere geologico già presenti, perché relitti, stabilizzati o quiescenti;
- può evolvere in fenomeni di frana s. l., di colate di terra (**Soil Slips**) e di colate di detrito (**Debris Flows**).

Di conseguenza essa contribuisce ad incrementare, il carico solido della rete idrografica minore, che su scala locale, a sua volta, genera incremento di pericolosità idraulica.

Per quanto riguarda la casistica idraulica, con riferimento alla Fig. 1 della Relazione Generale del P.A.I. (come riportato in basso), si evince che la principale causa di insufficienza idraulica nel Bacino Unico Regionale è data dai **ponti stradali** e un ulteriore elemento assai critico è dato dal **pessimo stato di manutenzione di gran parte del reticolo idrografico**, soprattutto di quello minore e di piana alluvionale. È vero che negli ultimi 5 anni si è assistito ad un potenziamento degli interventi di mitigazione e di salvaguardia ma è altrettanto vero che larga parte delle criticità potrebbe essere sanata o mitigata soltanto facendo riferimento ad una periodica e meno invasiva (per lo meno rispetto a certe tipologie di sistemazioni) pratica manutentoria, per la quale al momento non esistono istruzioni tecniche che vadano al di là delle leggi nazionali e dei contributi offerti dal C.F.V.A. sulla materia.

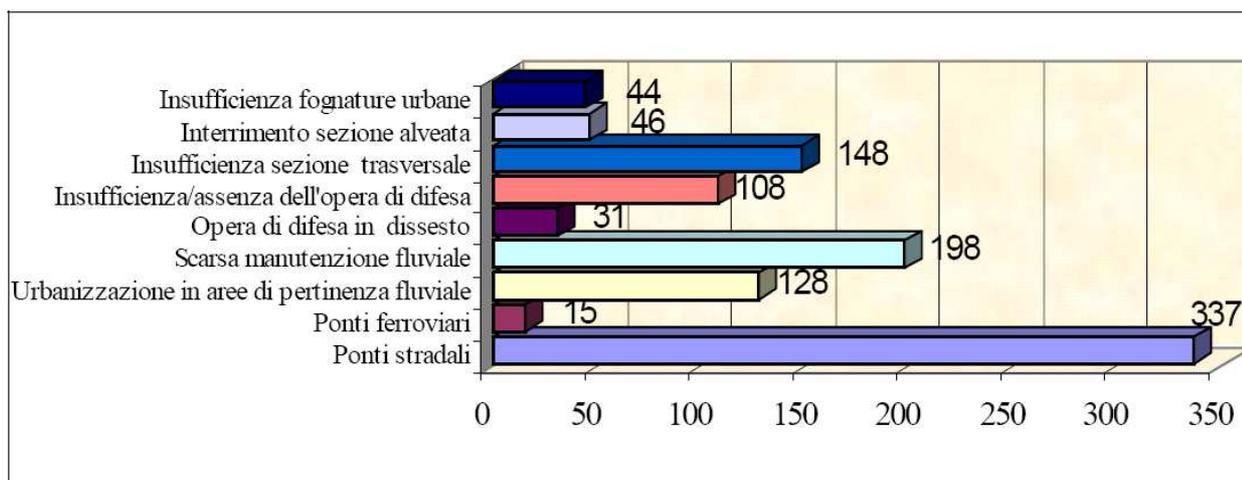


Fig. 2.1 Principali cause di insufficienza idraulica nel Bacino Unico Regionale (R.A.S. - Assessorato dei Lavori Pubblici, 2004)

Va detto inoltre che non sempre gli interventi si manifestano come risolutori delle criticità, semmai, talvolta talune sistemazioni idrauliche si sono rivelate per lo meno fattori co-generatori o amplificatori di essa. Molti infine non hanno fatto altro che disporre palliativi assecondando le violazioni storiche degli assetti idrogeologici naturali, rinviando ad eventi di maggiore intensità il manifestarsi di una vulnerabilità persistente o crescente (è questo il caso recente del Riu San Teodoro in Gallura). Questo soprattutto a causa della difficoltà che si ha nel progettare le opere idrauliche principali secondo criteri di riferimento geomorfologici rispetto ai quali continuano a prevalere approcci idrologico-idraulici, peraltro sempre più soggetti a critica, data la messa in

discussione della base statistica, in particolare quella parte che concerne la determinazione probabilistica sia degli afflussi (ad es.: curve di possibilità pluviometrica) che delle portate.

2.3.2 *Degrado ambientale*

Ogni attività umana determina un impatto e una conseguente alterazione delle condizioni spontanee di naturalità che può essere temporanea o permanente. Ciò è vero sia per le attività di tipo tradizionale (es. agro-pastorali), caratterizzate generalmente da un impatto estensivo, sia per quelle industriali i cui effetti, almeno a livello di modificazioni di uso del suolo e del paesaggio, risultano spazialmente concentrati e non di rado irreversibili.

Non sempre però gli impatti sono tali da causare un degrado ambientale, di fatto secondo un approccio concettuale nato nell'ambito dell'Ecologia del paesaggio, non si dovrebbe usare il termine degrado per qualsiasi alterazione dell'ambiente naturale, ma limitarne l'uso a quelle azioni tali da compromettere il mantenimento di un equilibrio naturale in maniera transitoria significativa o permanente.

Per chiarire il concetto si può citare come esempio la pastorizia, attività che forse più di ogni altra ha influito sul paesaggio sardo, modificandolo e al tempo stesso caratterizzandolo. Le superfici su cui si svolge questa attività sono state chiaramente ricavate attraverso il taglio o l'incendio della vegetazione naturale, che in origine era prevalentemente di tipo forestale. Tuttavia, ai fini della gestione territoriale, sarebbe improprio affermare che tutte le aree pascolive della Sardegna siano oggi delle aree degradate. Molte di queste risultano viceversa avere accresciuto i loro caratteri di biodiversità, essendo caratterizzate da tipologie vegetazionali estremamente diversificate e ospitano una flora, almeno in termini quantitativi, ben più ricca di quella costitutiva di una qualsiasi formazione forestale. Quando tuttavia mancano i presupposti di equilibrio tra la pressione del bestiame e la produzione di fitomassa in una data area sottoposta a pascolo, quando cioè si supera la capacità di carico sostenibile, allora è possibile parlare di una situazione di degrado. Questo si manifesta ad esempio con un progressivo impoverimento dei suoli e in particolare degli orizzonti organici superficiali, una discontinuità della copertura vegetale e la presenza di fenomeni di erosione che possono essere canalizzati o diffusi.

Lo stesso discorso vale per le attività agricole in senso lato, che risultano distruttive per un dato territorio quando vengono praticate oltre le capacità d'uso del suolo, per esempio quando (come si è visto in precedenza) prevedono arature su versanti molto acclivi o su substrati pedologici assai poco evoluti o altamente instabili, oppure quando per effetto di una irrigazione prolungata nel tempo con acque ricche in composti salini, portano ad una concentrazione di sali negli orizzonti organici dei suoli in grado di rendere sterili gli stessi in maniera irreversibile.

In generale si può quindi dire che il degrado ambientale si manifesta come:

- compromissione degli equilibri naturali di tipo ecosistemico;

- riduzione o distruzione di ecosistemi e/o habitat ad elevata naturalità o di alto valore conservazionistico;
- danneggiamento o distruzione di popolazioni di specie animali e/o vegetali a rischio o non di estinzione;
- riduzione o perdita di capacità d'uso di un suolo o di un corpo idrico.

Per quanto riguarda la prima tipologia, in cui rientrano gli esempi di cui sopra, occorre ricordare che gli effetti delle alterazioni ambientali non si limitano all'area in cui le attività vengono praticate, ma hanno importanti ripercussioni anche all'esterno. Infatti, se da un lato l'innesco di processi erosivi e la perdita di suolo rendono sovente le pratiche agro-pastorali non sostenibili a lungo termine, dall'altro lato si avranno alterazioni del trasporto solido fluviale, con ripercussioni a livello di bacino idrografico che si traducono spesso in maggiori pericoli di dissesto.

Le alterazioni degli equilibri naturali connesse con le dinamiche idrologiche sono quelle che presentano le conseguenze più gravi per l'uomo e le sue proprietà, nello stesso tempo sono anche quelle sulle quali l'ingegneria naturalistica può rivestire un ruolo di primaria importanza.

Come detto al principio di questo paragrafo, non si può affermare, in linea generale, che il taglio dei boschi avvenuto in epoche passate per ricavare superfici coltivabili e/o pascolabili debba essere considerato a priori come una forma di degrado. Tuttavia appare evidente che, in particolari aree della Sardegna, una delle principali cause predisponenti di dissesto idrogeologico sia proprio l'assenza di una copertura vegetale continua su ampie estensioni territoriali.

Nel considerare il ruolo della copertura vegetale nella prevenzione dei dissesti, deve essere valutata la differente azione di contenimento esercitata dalle diverse formazioni vegetali, in quanto non sono soltanto gli aspetti forestali a svolgere tale funzione. Infatti, la capacità di trattenimento del suolo è generalmente maggiore nelle formazioni a più alta naturalità e decresce man mano che i processi degradativi causano l'instaurarsi di tappe seriali sempre più lontane dalla vegetazione potenziale. Sarebbe in questo caso errato pensare di distinguere nettamente ciò che è naturale da ciò che è compromesso è più utile condurre invece un'analisi più attenta e puntuale della naturalità di un dato territorio, valutando in questo modo i settori che eventualmente necessitano di intervento.

A tale proposito, un grave errore compiuto in passato è stato quello dell'asportazione di macchie basse e garighe per far posto a piantagioni di pini o eucalipti. Recenti studi (Vacca et al., 2000) hanno dimostrato come il freno all'erosione posto dai primi sia molto più efficace rispetto a quanto garantito dagli imboschimenti con specie non autoctone. Un altro vantaggio non trascurabile della vegetazione spontanea mediterranea sta nella grande resilienza, che permette a queste formazioni di riprendere in pochi anni il proprio aspetto originario dopo il passaggio degli incendi, grazie a fenomeni di pirofitismo passivo (es. *Quercus suber*) e attivo (es. *Cistus* sp. pl., *Calicotome* sp. pl.). Per un rimboschimento di specie esotiche, al contrario, l'incendio può determinare la totale

scomparsa della copertura vegetale dovuta alla scarsa resilienza delle specie impiantate (es. *Pinus* sp. pl.). In tale ottica, un'area interessata da imboschimenti e/o rimboschimenti può essere in molti casi considerata un'area degradata, oltre che con bassa biodiversità sia specifica che ecosistemica.

Per quanto riguarda la compromissione degli equilibri naturali, va certamente considerato il caso degli interventi attuati dall'uomo lungo gli alvei fluviali e gli ambienti di ripa più in generale, i quali si effettuano di norma per migliorare la funzionalità fluviale ma spesso ottengono il risultato opposto. La causa di tali inefficienze è spesso la superficialità o la scarsa accuratezza che caratterizza gli studi sul territorio. Nel caso degli habitat fluviali, l'alterazione degli equilibri ecologici è connessa al danneggiamento o alla totale distruzione di ecosistemi naturali. In molti casi questi possono essere sostituiti da comunità vegetali impoverite, spesso con ricchi contingenti di specie sinantropiche o alloctone. Tuttavia, nel caso di cementificazione degli alvei fluviali, si assiste spesso a una totale scomparsa della vegetazione, seguita, a distanza di anni, dalla deposizione di materiali fini sull'alveo, che può così ospitare comunità pioniere quali ad esempio canneti. In quest'ultimo caso può quindi avvenire che, alla totale distruzione dell'ecosistema fluviale, segua l'ostruzione dell'alveo da parte della vegetazione sinantropica primocolonizzatrice, che unisce al danno ambientale anche l'inutilità dell'intervento.

Rispetto alle alterazioni degli equilibri naturali su vaste superfici, i danneggiamenti di ecosistemi o di specie possono avere effetti limitati all'area su cui si attua l'intervento umano. L'ingegneria naturalistica può, in questi casi, rappresentare un valido strumento per la ricreazione di habitat naturali sulle stesse aree degradate in seguito a un intervento localizzato. Molto spesso, tuttavia, le superfici modificate vengono destinate ad altri usi e non esiste la possibilità di ricreare il valore naturalistico perduto. In tali casi si può fare ricorso alle cosiddette "misure di compensazione", interventi che tendono ad innescare processi di rinaturalizzazione dell'habitat perduto in un'area vicina, che presenti caratteristiche ecologiche compatibili e situazioni di degrado pregresse ma meno accentuate; ciò al fine di evitare la complessiva riduzione areale dell'ecosistema stesso.

Infine, deve essere fatto un cenno alle problematiche legate al degrado dei suoli e delle acque e alla conseguente perdita delle loro capacità d'uso, che può derivare dal rilascio di sostanze pericolose per l'ambiente e per la salute delle persone. E' importante ricordare che gli organismi vegetali possono svolgere un'efficace azione di rimozione o immobilizzazione dei contaminanti, organici e inorganici, presenti sia nei terreni che nelle acque superficiali. Per quanto riguarda le fonti di inquinamento inorganico, si deve fare riferimento soprattutto alle discariche minerarie presenti in molte aree della Sardegna, con una densità particolarmente elevata nel Sulcis-Iglesiente.

2.3.3 *Degrado antropico-culturale*

L'intensa utilizzazione del suolo legata alle attività agricole e spintasi in tempi passati fino alla coltivazione delle "terre marginali", nelle quali l'attività agricola intensiva era basata essenzialmente sulla realizzazione e sul mantenimento di adeguate opere di sistemazione idraulico-agraria (terrazzamenti, gradonamenti, muretti a secco, reti idriche, drenaggi, ecc.) e di ordinamenti produttivi misti (colture con basso grado di specializzazione, non monoculture) con il passare del tempo è stata abbandonata contribuendo in maniera significativa all'abbandono di parti del territorio e alla perdita di colture tradizionali e quindi della biodiversità di alcune varietà locali di piante arboree, orticole ed erbacee, innescando inoltre in alcuni casi (in particolare nelle aree di collina e montagna) fenomeni di erosione, di instabilità dei versanti e di disordine idrogeologico. Le pratiche colturali dell'agricoltura intensiva inoltre, **come detto**, hanno favorito l'utilizzo di superfici sempre più ampie eliminando o relegando a spazi limitatissimi siepi libere, muretti, fossi e canali (corridoi ecologici), modificando quindi sistemazioni idrauliche, favorendo le monoculture e l'utilizzo elevato di concimi e pesticidi. La necessità di avere superfici più ampie legate all'allevamento ha favorito inoltre l'aratura di territori con pendenze superiori al 12% che con suoli poco profondi, come sono in media quelli sardi, ha determinato l'innescarsi di importati processi erosivi. I processi erosivi si traducono quindi non solo nella perdita di particelle di terreno, ma rappresentano anche una delle cause principali della riduzione dell'infiltrazione e della capacità di immagazzinamento dell'acqua, con un conseguente peggioramento della struttura, una perdita di sostanza organica e di elementi nutritivi, che comportano un substrato meno favorevole alla crescita delle piante e alla sostenibilità delle attività agricole nel tempo.

Anche il sovrappascolamento in aree sensibili causa il cambiamento del profilo del suolo, l'orizzonte più superficiale viene degradato e arricchito di letame questo determina modifiche nella composizione e nella struttura, così come la compattazione del suolo dovuta al calpestio degli animali altera nel tempo le caratteristiche strutturali e di porosità del suolo riducendone la capacità di infiltrazione, questi processi in ambienti in precarie condizioni di equilibrio si possono associare a instabilità dei versanti.

2.4 Normative di interesse nei settori coinvolti, quadro pianificatorio e contesto amministrativo

2.4.1 I progetti e le opere di IN nel contesto normativo nazionale

A partire dagli anni '90 è stato ampiamente modificato il quadro normativo nazionale sulla "difesa del suolo" e le acque in genere. In linea generale si è affermato un approccio legato alla

pianificazione unitaria di bacino idrografico e il legislatore ha posto particolare attenzione agli aspetti di riequilibrio e inserimento ambientale degli interventi e di minimizzazione dell'impatto.

La legge più significativa è la L.183/89, "*Norme per la difesa del suolo*", che ha lo "*scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi*" (comma1, art.1). È in seguito a questa norma che sono state definite le Autorità di Bacino a cui è demandata la predisposizione del Piano di Bacino. Quest'ultimo rappresenta uno strumento guida di programmazione del territorio, ponendosi al di sopra di qualsiasi altro atto pianificatorio provinciale o locale (preordinato), in modo da garantire un uso del territorio e delle risorse sostenibile nonché la tutela dell'ambiente naturale, i cui aspetti ecologici, paesistici e territoriali vengono così affrontati in modo unitario ed integrato.

Altre leggi nazionali hanno posto l'attenzione sui problemi di riqualificazione ambientale, con particolare riferimento agli ambiti fluviali. La L. 37/94 (cosiddetta legge Cutrera), "*Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle acque pubbliche*", è finalizzata a tutelare gli ecosistemi fluviali anche attraverso il recupero e la ridefinizione delle aree demaniali lungo i fiumi, favorendone la concessione alle Amministrazioni pubbliche che intendessero promuovere parchi, riserve o comunque progetti di salvaguardia ambientale. La L. 37/94 (artt.1, 2, 3, 4), infatti, modifica sostanzialmente alcuni articoli del Codice Civile (artt. 942, 945, 946 e 947), definendo appartenenti allo Stato i "*terreni abbandonati dalle acque correnti*", laddove prima potevano essere acquisiti "*per accessione*" dai proprietari confinanti. Un'altra novità introdotta dalla L. 37/94 (art.8) è la modifica del disposto di cui all'art. 6 del Regio Decreto Legge (R.D.L.) 18 giugno 1936 n°1338, in forza del quale la concessione dei terreni del demanio idrico veniva rilasciata di preferenza ai "*proprietari, agli enfiteuti o agli usufruttuari rivieraschi di corsi d'acqua pubblica (...) a scopo di piantagione di pioppi o di altre essenze arboree*". Tali aree dovevano essere gestite dall'Amministrazione delle Finanze secondo criteri di economicità, ossia fornendo un reddito mediante il canone concessorio. Con la nuova normativa viene assegnato il diritto di prelazione per le concessioni a comuni, consorzi di comuni, province, regioni, comunità montane, nonché ai titolari di programmi di cui ai regolamenti CEE N°2078/92 e n°2080/92. Con la L. 37/94 lo Stato identifica come prioritario l'obiettivo di salvaguardia e tutela della natura rispetto a quello produttivo (piantagione dei pioppi) definito dal Regio Decreto-Legge del 1936. Si tratta quindi di una legge che può favorire interventi di rinaturazione o riqualificazione ambientale anche tramite le tecniche d'IN.

Anche il Decreto Legislativo dell'11 maggio 1999, n. 152, "*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque*

dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole"¹, si occupa di ambiti utili per l'applicazione delle tecniche di IN. Tale atto specifica all'art.1 che "Il presente Decreto definisce la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee perseguendo i seguenti obiettivi: (...) d) mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate"; all'art.3 (Competenze) "Le competenze sulle materie disciplinate dal presente decreto sono stabilite dal Decreto Legislativo 31 marzo 1998 n.112 e dagli altri provvedimenti statali e regionali adottati ai sensi della legge 15 marzo 1997 n.59 (...). I consorzi di bonifica ed irrigazione, anche attraverso appositi accordi di programma con le competenti autorità, concorrono alla realizzazione di azioni di salvaguardia ambientale e di risanamento delle acque, anche al fine delle loro utilizzazione irrigua, della rinaturalizzazione dei corsi d'acqua e della fitodepurazione".

La realizzazione di fasce tampone è anche prevista tra le misure agro-ambientali individuate nell'Allegato II del Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 7 aprile 2006 come Misure da prevedere nei Piani di Sviluppo Rurale per la tutela ed il risanamento delle acque superficiali e sotterranee dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola in zone vulnerabili, ai sensi del Regolamento (CE) 1257/99 e successive modifiche ed integrazioni (vedi riferimento successivo).

Lo stesso Decreto Legislativo all'art.41, "tutela delle aree di pertinenza dei corpi idrici", specifica al comma 1: "Ferme restando le disposizioni di cui al capo VII del Regio Decreto 25 luglio 1904, n.523, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino della vegetazione spontanea nella fascia immediatamente adiacente ai corpi idrici, con funzioni di filtro per i solidi sospesi e gli inquinanti di origine diffusa, di stabilizzazione delle sponde e di conservazione della biodiversità da contemperarsi con le esigenze di funzionalità dell'alveo, entro un anno dall'entrata in vigore del presente Decreto, le regioni disciplinano gli interventi di trasformazione e gestione del suolo e soprassuolo previsti nella fascia di almeno 10 metri dalla sponda di fiumi, laghi, stagni e lagune comunque vietando la copertura dei corsi d'acqua, che non sia imposta da ragioni di tutela della pubblica incolumità e la realizzazione di impianti di smaltimenti dei rifiuti"

Per la realizzazione delle opere di IN il DPR 25 gennaio 2000, n. 34 ("Regolamento recante istituzione del sistema di qualificazione per gli esecutori di lavori pubblici, ai sensi dell'articolo 8 della legge 11 febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni") definisce le nuove categorie di lavori per i quali può essere richiesta la qualifica delle ditte esecutrici. Ci si limita ad elencare le seguenti categorie che possono riguardare gli interventi di IN e riqualificazione fluviale e territoriale-ambientale in genere:

¹ In riferimento alla protezione delle acque dall'inquinamento da nitrati di origine agricola e zootecnica, a livello regionale è stato emanato il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 7 aprile 2006, che stabilisce, in applicazione dell'art. 38 del D. Lgs. 152 dell'11 maggio 1999 e successive modifiche e integrazioni, i criteri e le norme tecniche generali per la disciplina, da parte delle Regioni, delle attività di

CATEGORIE DI OPERE GENERALI

- OG 8: Opere fluviali, di difesa, di sistemazione idraulica e di bonifica
- **OG 13: Opere di ingegneria naturalistica**

CATEGORIE DI OPERE SPECIALIZZATE

- OS 1: Lavori in terra
- OS 24: Verde e arredo urbano

La mancanza di criteri selettivi validi a livello nazionale produce effetti negativi dal punto di vista della corretta esecuzione dei cantieri e delle opere in quanto consente anche a imprese operanti nell'edilizia o nel movimento terra, purché semplicemente iscritte all'Albo Costruttori, di partecipare a gare e appalti concernenti la realizzazione di interventi idraulici. Può così capitare che opere di IN o sistemazioni spondali prevalentemente forestali (tecniche vegetali, tagli, sfalci, pulizie di alveo) vengano eseguite da maestranze non qualificate, prive delle conoscenze adeguate.

Nell'analisi giurisprudenziale, occorre però sottolineare anche un fattore in qualche modo contraddittorio, nel contesto giuridico specifico. Il Testo Unico sulle Opere Idrauliche (Regio Decreto n. 523 del 15 luglio 1904) vieta esplicitamente *“le piantagioni che si inoltrino dentro gli alvei dei fiumi, torrenti, rivi e canali, a costringere la sezione normale e necessaria al libero deflusso delle acque”* e *“le piantagioni di qualunque sorta di alberi e arbusti sul piano e sulle scarpe degli argini e loro banche e sottobanche, lungo i fiumi, torrenti e canali navigabili”*. Nella realizzazione delle opere di IN in ambito fluviale di fatto si introduce vegetazione arborea e arbustiva, sebbene lo sviluppo di questa avvenga dopo qualche mese dai lavori. Peraltro, le modalità con cui si inserisce e si sviluppa tale vegetazione e le caratteristiche delle specie vegetali utilizzate fanno sì che tale impianto vegetale possa essere inteso in termini di “opera idraulica” piuttosto che in termini di semplice “piantagione”, in relazione alla sua omogeneità, densità, continuità e tipologia costruttiva. Comunque, a rigore, la questione rimane non ben definita, quindi soggetta ad eventuali diversità di interpretazione, anche in sede autorizzativa.

È importante sottolineare il fatto che anche altre normative nazionali richiamano esplicitamente al termine di IN o ai concetti ad essa più strettamente connessi, oppure di fatto ne determinano l'applicazione. In particolare, il D. Lgs. 163/2006(“Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”) introduce testualmente l'IN fra le attività definite come lavori pubblici (Art. 3, comma 8). Il Regolamento di attuazione vigente (DPR 21 dicembre 1999, n. 554), nello spirito della ricerca di soluzioni a minimo impatto ambientale, richiede poi (Artt. 21 e 29) la redazione di studi di prefattibilità e di fattibilità ambientale, anche ove

utilizzo agronomico degli effluenti di allevamento e delle acque reflue provenienti dalle aziende di cui all'art. 28, comma 7, lettere a), b) e c) del D.Lgs. 152/1999 e da piccole aziende agroalimentari.

non è prevista la valutazione d'impatto ambientale. Il principio della migliore soluzione sul piano ambientale è richiamato già nelle disposizioni generali per la progettazione (Art. 15), ove si richiamano, in più parti, gli obiettivi fondamentali per minimizzare gli effetti negativi sull'ambiente, sul paesaggio e sul patrimonio storico-artistico e archeologico. Nel paragrafo sulla progettazione si riporteranno nel dettaglio gli specifici riferimenti del Regolamento in materia ambientale e, più specificatamente, di IN.

La Legge Quadro sui lavori pubblici, oltre ad indicare gli elaborati che devono comporre le diverse fasi di qualsivoglia progettazione (preliminare, definitiva, esecutiva), introduce anche un'altra prescrizione di rilievo: la redazione del "piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti" (Artt. 93 e 203), che deve essere redatto secondo quanto previsto dal Regolamento collegato. E' ovvio come tale strumento sia importante, in particolare per gli interventi che presentano un'evoluzione considerevole nel tempo, quali quelli di IN.

Infine, gli interventi effettuati con tecniche di IN, come del resto qualsiasi altro tipo di intervento, devono poi fare riferimento comunque a tutte quelle normative che trattano delle problematiche interessate e dell'esecuzione di opere sul territorio. Le categorie principali di tali normative sono: difesa del suolo, impatto ambientale, risorse idriche, lavori pubblici, pubblica amministrazione, urbanistica, edilizia, regolamenti tecnici sui materiali e sulle resistenze meccaniche, regolamenti sulle professioni, sicurezza. Occorre quindi che l'intervento soddisfi quanto previsto e che ottenga tutti i permessi e nulla osta necessari, seguendo un iter più o meno complesso e articolato a seconda degli aspetti e dei problemi che lo caratterizzano nonché dell'ambito territoriale, che può essere soggetto a vincoli o a competenze specifiche.

In particolare si evidenzia che nella realizzazione dei lavori di realizzazione delle opere è indispensabile tener conto delle norme contenute nel D.M. del 19.04.1999 "applicazione del codice di buona pratica agricola" che contrastano danni ambientali che potrebbero insorgere non tenendo conto di efficienti pratiche agricole.

Si ricorda, in conclusione, l'obbligo di accompagnare i progetti di opere pubbliche dei comuni con "*una relazione che attesti la conformità del progetto alle prescrizioni urbanistiche ed edilizie, nonché l'esistenza dei nulla osta di conformità alle norme di sicurezza, sanitarie, ambientali, paesistiche*" (Art. 4 comma 60, punto 16, D.Lgs. 31/12/96 n. 662 "Misure di razionalizzazione della finanza pubblica", convertito in legge 29/2/97 n. 30). E' chiaro come tale conformità sia, in generale, più importante per progetti che presentano forti implicazioni col territorio e con i suoi usi, quali le opere di riqualificazione idraulico-ambientale.

2.4.2 *Il quadro normativo regionale*

All'interno del quadro normativo regionale, i più significativi ed espliciti richiami ad aspetti attinenti all'utilizzo di tecniche di IN nell'ambito degli interventi di controllo del rischio idrogeologico sono

individuabili prevalentemente all'interno dei recenti atti e dispositivi assunti e definiti in attuazione della L.183/89.

Nello specifico, il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), (approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 54/33 del 30.12.2004 e quindi aggiornato prima con il D.P.R. n. 67 del 10 luglio 2006 e successivamente con il D.P.R. n. 35 del 21 marzo 2008, nelle more dell'approvazione del Piano di Bacino ai sensi della L. 183/89 e del successivo D.Lgs 152/2006, Art. 67 comma 1), stabilisce e precisa in differenti punti la specifica attenzione richiesta nella predisposizione degli interventi di contenimento del pericolo e del rischio idrogeologico e nella definizione degli strumenti di pianificazione e gestione del territorio, verso la adozione di soluzioni in grado di perseguire, oltre che le finalità di minimizzazione diretta del rischio, anche quelle di aumento della efficienza ecologica dei sistemi ambientali interessati, nonché di miglioramento e valorizzazione ambientale e paesaggistica.

Tale strumento si applica al Bacino Idrografico Unico Regionale della Regione Sardegna, oggi Distretto Idrografico ai sensi del citato Testo Unico Ambientale (D.Lgs. 152/2006), corrispondente all'intero territorio regionale; esso contiene in particolare l'individuazione e la perimetrazione delle aree di pericolo (Hg e Hi) e di rischio idrogeologico (Rg e Ri), nonché da sottoporre a misure di salvaguardia con la determinazione delle misure medesime.

In particolare le N.T.A. del P.A.I. all'art 8 (Indirizzi per la pianificazione urbanistica e per l'uso di aree di costa) comma 6, stabiliscono che, in sede di adozione di piani di settore e di piani territoriali diversi dagli strumenti urbanistici comunali e varianti generali agli strumenti urbanistici comunali vigenti, "per quanto di rispettiva competenza sono stabiliti interventi, azioni e prescrizioni allo scopo di:

a. *rallentare i deflussi delle acque, incrementare la permeabilità dei suoli, sistemare e riqualificare le reti di drenaggio artificiali e naturali, mantenere il regime idraulico e la qualità ambientale delle spiagge, degli stagni e delle aree lagunari, accrescere il numero e l'ampiezza delle aree libere naturalmente o artificialmente inondabili (...).*

b. *ridurre i fenomeni di erosione, di arretramento e di crollo delle pareti rocciose che costituiscono la linea di costa attraverso la regimazione delle acque di deflusso, naturale e non, che recapitano nelle aree pericolose, attraverso il consolidamento delle pareti pericolanti e il mantenimento della funzione protettiva e stabilizzante della vegetazione naturale.*"

Il comma 8 dello stesso articolo prescrive che, nelle aree perimetrate dal P.A.I. come aree di pericolosità idraulica di qualunque classe, gli strumenti di pianificazione regolano e istituiscono, ciascuno secondo la propria competenza, fasce di tutela dei corpi idrici superficiali. All'interno di tali fasce, il successivo comma 9 specifica che sono vietati in particolare anche tutti i tagli di vegetazione riparia naturale ad eccezione di quelli richiesti da una corretta manutenzione idraulica. Ancora lo stesso articolo, al comma 11, richiamando l'applicazione della normativa

nazionale (art. 41, D.Lgs 152/99), precisa il ruolo delle fasce di tutela dei corpi idrici superficiali per quanto riguarda anche: la conservazione della naturalità e biodiversità dei corsi d'acqua interessati, il mantenimento della vegetazione spontanea con particolare riferimento a quella capace di rinsaldare gli argini e stabilizzare i terreni limitrofi, fatte salve le esigenze della manutenzione idraulica, nonché il favorire la creazione di fasce tampone.

Anche l'art.10 (Gestione delle attività agricole) e l'art.11 (Gestione selvicolturale) contengono disposizioni che orientano decisamente verso strategie coerenti con quelle della IN. In particolare al comma 3, art.10 si specifica che, ai fini della prevenzione dei rischi di frana, sia compito della Amministrazione Regione approvare disposizioni che, regolamentando l'esercizio delle pratiche agricole, si preoccupino anche, in particolare, "di impedire lavorazioni agricole sulle scarpate stradali e fluviali, su cui favorire invece la ricolonizzazione spontanea della vegetazione autoctona locale, l'inserimento di compagini erbaceo-arbustive, il mantenimento della vegetazione d'alto fusto di ampio apparato radicale". L'art.11, invece, prevede che le disposizioni regionali relative alla gestione selvicolturale, a fini di prevenzione dei pericoli e dei rischi idraulici, siano orientate in modo da evitare i tagli in alveo e l'eliminazione della vegetazione ripariale dei corsi d'acqua se non per motivi insuperabili di sistemazione e manutenzione idraulica, e favoriscano la ricostituzione di vegetazione elastica resistente agli allagamenti ed adatta ai processi di fitodepurazione. Tali disposizioni dovranno inoltre favorire la creazione di vivai specializzati in piante autoctone arboree ed arbustive. L'art. 13 (controllo delle attività estrattive) sembra entrare nel merito ed ammettere gli interventi di IN quando si fa riferimento a concetti come "*la rinaturalizzazione e la rimodellazione dei versanti*" e anche quando si dice che "*l'impianto di specie vegetali deve tener conto della vegetazione autoctona e delle particolari condizioni fisico-chimiche e biologiche del substrato*".

In relazione agli interventi di manutenzione sulla vegetazione ripariale, l'art.15 delle N.T.A. del P.A.I. definisce che tali interventi devono essere orientati preferibilmente all'impianto e alla conservazione di specie autoctone e comunque devono garantire che le specie compatibili: possiedano caratteristiche morfomeccaniche e di elasticità tali da resistere allo scalzamento dall'alveo; siano preferibilmente mantenute a coltivazione cedua rinnovata continuativamente al primo turno utile, con densità tale da ottenere una distanza reciproca delle ceppaie e con un numero di polloni tale da assicurare il massimo risultato in termini di sicurezza idraulica.

L'Art.23 "Prescrizioni generali per gli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica" indica espressamente che nelle aree di pericolosità idrogeologica tutti i nuovi interventi previsti dal P.A.I. e consentiti dalle sue Norme di Attuazione devono essere tali da salvaguardare la naturalità e la biodiversità dei corsi d'acqua e dei versanti (comma 9.g), nonché devono adottare per quanto possibile le tecniche dell'IN e quelle a basso impatto ambientale (comma 9.i);

Infine, altre disposizioni di specifico interesse previste dalle N.T.A. del P.A.I. riguardano la disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4). In particolare l'art. 27 stabilisce che in tali aree siano consentiti esclusivamente, oltre le opere e gli interventi idraulici per migliorare la difesa

dalle alluvioni e la sicurezza delle aree interessate da dissesto idraulico, gli interventi per mantenere e recuperare le condizioni di equilibrio dinamico degli alvei dei corsi d'acqua, le attività di manutenzione idraulica compatibile, anche le opere di sistemazione e riqualificazione ambientale e fluviale dirette alla riduzione dei pericoli e dei danni potenziali da esondazione, rivolti a favorire la ricostituzione degli equilibri naturali, della vegetazione autoctona, delle cenosi di vegetazione riparia.

Oltre al P.A.I., gli strumenti di settore che presentano una diretta attinenza relativamente alla applicazione delle tecniche di IN nel campo della difesa del suolo, comprendono anche: il Piano Stralcio di Bacino delle Fasce Fluviali; il Piano Forestale Ambientale Regionale, approvato recentemente come proposta dalla Giunta Regionale con Deliberazione n. 3/21 del 21.1.2006; il Piano di Tutela delle Acque, approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 14/16 del 4 aprile 2006; il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) della Sardegna 2007-2013, approvato all'unanimità il 20/11/2007 dal Comitato Sviluppo rurale della Commissione Europea.

Attualmente, dietro incarico dell'Assessorato Regionale dei Lavori Pubblici (in seguito passato al controllo dell'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico-ARDIS), è in corso di redazione lo studio denominato "Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (P.S.F.F.), da redigere ai sensi della legge sulla Difesa del Suolo, L.183/1989, oggi confluita nel D.Lgs. 152/2006). Esso è un piano di settore del Piano di Bacino Regionale e realizza un approfondimento ed un'integrazione del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Lo studio costituisce lo strumento operativo per la delimitazione delle regioni fluviali, funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Come comunicato dall'Assessorato competente, le linee di intervento strategiche del piano, saranno orientate tra l'altro a favorire, ovunque sia possibile, l'evoluzione morfologica naturale dell'alveo del corso d'acqua, riducendo al minimo le interferenze antropiche sulla dinamica evolutiva e a favorire il recupero e il mantenimento di condizioni di naturalità, salvaguardando le aree sensibili e i sistemi di specifico interesse naturalistico e garantendo la continuità ecologica del sistema fluviale.

Di recente, sempre l'Assessorato dei Lavori Pubblici (che ha successivamente passato la competenza all'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico-ARDIS) ha affidato l'incarico per la predisposizione di direttive in materia di: A) Manutenzione della rete idrografica e delle opere idrauliche di sistemazione dei corsi d'acqua dell'intero reticolo idrografico isolano, ai sensi dell'Art. 15 delle Norme di Attuazione del P.A.I.; B) Gestione dei sedimenti degli alvei dei corsi d'acqua, con particolare riferimento alle attività estrattive dagli stessi alvei, dalle golene e dalle aree di pertinenza fluviale, nell'intero territorio regionale della Sardegna, nel rispetto di quanto prescritto dall'art. 13, commi 2, lett. d ed f, 3 e 5, delle N.T.A. del P.A.I..

E sempre in materia di difesa del suolo, lo stesso Assessorato ha bandito lo “*Studio di fattibilità per la realizzazione degli interventi necessari alla difesa delle coste per la ridefinizione degli equilibri ambientali nelle aree a rischio di erosione nel settore Nord Occidentale della Sardegna*”. Tuttavia va detto che permane ancora l'assenza di un Piano Stralcio per la Difesa dei Litorali, entro il quale poter ammettere, all'occorrenza, anche soluzioni morbide di difesa facenti riferimento ad approcci naturalistici o persino la precisa prescrizione, dove necessario, di non intervenire, per esempio nella rimozione delle berme vegetali a *Posidonia oceanica*.

Con la redazione del Piano Forestale Ambientale Regionale (PFAR), approvato con Delibera 53/9 del 27.12.2007, che costituisce un Piano Stralcio del Piano di Bacino regionale ai sensi della già citata Legge 183/89, la Regione si è dotata di uno strumento di pianificazione e di programmazione economico-finanziaria della materia forestale che, recependo i principali documenti nazionali ed europei, persegue cinque macro-obiettivi:

- la tutela dell'ambiente;
- il potenziamento del comparto produttivo;
- lo sviluppo di una pianificazione forestale integrata;
- la valorizzazione della formazione professionale e della educazione ambientale;
- la ricerca scientifica.

Gli obiettivi del Piano sono perseguiti attraverso la previsione di interventi per la difesa del suolo di tipo estensivo, in particolare forestali, volti sia alla prevenzione che alla mitigazione e al recupero delle aree degradate.

Anche in riferimento a condizioni di particolare criticità, arrestabili, almeno in prima istanza, solo attraverso interventi di carattere intensivo, ingegneristico ed infrastrutturale, il PFAR sottolinea l'importanza d'estendere l'analisi e dunque i possibili interventi a tutto il bacino idrografico, in particolare alle aree di monte, dove è fondamentale il contributo della vegetazione per la diminuzione delle velocità di ruscellamento e la stabilizzazione delle terre. In tale ottica assumono rilevanza gli interventi di sistemazione idraulico-forestale, eventualmente complementari a quelli infrastrutturali, estesi oltre la mappatura delle aree già dichiarate a rischio e pericolosità. Gli interventi devono essere dettagliati su scala di versante, progettati tenendo conto degli effetti che derivano dal miglioramento delle condizioni vegetazionali non solamente attraverso i rimboschimenti ma anche, e forse soprattutto, attraverso la gestione forestale pianificata dell'esistente.

Anche nel campo dell'ingegneria naturalistica il piano sottolinea la necessità del rispetto di obiettivi di conservazione e valorizzazione del patrimonio biologico locale, attraverso la corretta individuazione dei materiali di base che assicurino la riuscita degli interventi.

La scelta dei materiali di base, delle aree di raccolta e le tecniche di coltivazione in vivaio sono valutate di fondamentale importanza per la difesa della biodiversità, risultando necessario contrastare le immissioni incontrollate che comportano rischi di inquinamento genetico ed erosione della biodiversità, specialmente a livello della biodiversità degli ecotipi.

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA), redatto in attuazione dell'art. 44 del D. L.gs. 11 maggio 1999 n. 152 e s.m.i. e dell'art. 2 della L.R. luglio 2000, n. 14, nonché piano stralcio di settore del Piano di Bacino ai sensi dell' art. 17, comma 1, della Legge 183/89, costituisce uno strumento conoscitivo e programmatico dinamico attraverso azioni di monitoraggio, programmazione, individuazione di interventi, misure, vincoli, per la tutela integrata degli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica. All'art.23 "Aree di pertinenza dei corpi idrici" il piano richiama il Decreto Legislativo 18 agosto 2000, n. 258, specificando che "la Regione individua la fascia di pertinenza pari a 10 metri dalla sponda di fiumi, laghi, stagni e lagune al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino della vegetazione spontanea nella fascia immediatamente adiacente i corpi idrici, con funzioni di filtro per i solidi sospesi e gli inquinanti di origine diffusa, di stabilizzazione delle sponde e di conservazione della biodiversità da contemperarsi con le esigenze di funzionalità dell'alveo, comunque vietando la copertura dei corsi d'acqua, che non sia imposta da ragioni di tutela della pubblica incolumità, e la realizzazione di impianti di smaltimento dei rifiuti".

Tuttavia, sebbene, come detto, anche lo stesso P.A.I. prescriva ulteriori restrizioni in tal senso nelle aree di pericolosità idraulica (art. 8 comma 8), appare opportuno sottolineare come difficilmente questa norma trovi riscontro nella gestione ordinaria delle piane alluvionali dove le colture agricole si estendono abitualmente sino all'alveo di piena ordinaria (Fig. 2.4).



*Fig. 2.4 -Valle incassata del Riu Mannu di Porto Torres, si nota come manchi una fascia di pertinenza con funzioni protettive
- Foto A. Forci.*

Il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) della Sardegna 2007-2013, predisposto sulla base del Reg. (CE) n. 1698/2005, costituisce il principale strumento di programmazione della strategia regionale in materia di agricoltura e sviluppo rurale. In particolare la Misura 214 del PSR favorendo l'assunzione,

da parte degli agricoltori, di impegni agroambientali al di là dei requisiti obbligatori in materia, può trovare applicazione anche in riferimento alla realizzazione di opere mediante tecniche di Ingegneria Naturalistica. Da questo punto di vista si rilevano più chiari requisiti di coerenza con la Azione 3 – “Tutela degli habitat naturali e seminaturali”.

L'obiettivo operativo dell'Azione è quello di promuovere nelle superfici agricole incluse nella Rete Natura 2000 l'adozione di nuovi modelli di gestione dei terreni agricoli finalizzati alla tutela delle zone umide, alla produzione di colture per la fauna selvatica e al mantenimento di siepi, filari e gruppi arborei isolati.

Nell'ambito di tale Azione, l'Intervento 1 prevede in particolare la “ Creazione e mantenimento di fasce di rispetto dei corpi d'acqua” In tale ambito gli operatori agricoli sono chiamati a svolgere un ruolo attivo nei processi di conservazione e tutela degli habitat lenticivi attraverso la creazione e mantenimento di fasce di rispetto intorno agli specchi d'acqua. Nella fascia di rispetto dei corpi d'acqua è fatto tra l'altro obbligo di cura delle arginature naturali che delimitano l'area umida.

Di recente il Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino della Sardegna, con delibera n. 1 del 25 febbraio 2010 ha adottato il Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sardegna elaborato dalla Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico-*Servizio tutela e gestione delle risorse idriche, vigilanza sui servizi idrici e gestione della siccità*.

Il Piano di Gestione del Distretto idrografico (D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 , recepimento della Direttiva 2000/60/CE) rappresenta lo strumento per la pianificazione, l'attuazione e il monitoraggio delle attività e delle misure necessarie per il raggiungimento degli obiettivi ambientali e di sostenibilità nell'uso delle risorse idriche. Va tuttavia detto che i contenuti del Piano appaiono solo indirettamente collegati alla materia che qui si tratta (Par. 4.3.4) e che gli elaborati che lo costituiscono non sono esplicitamente connessi con la realizzazione degli interventi di riassetto idrogeologico.

Rilevanza generale assumono le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Paesistico Regionale, discendente dal D.Lgs. 42/2004 (“Codice dei beni culturali e del paesaggio”, ai sensi dell'art. 10 della L. 6 luglio 2002, n.137), in particolare all' Art. 30, dove si fa riferimento alla necessità di conformare la pianificazione settoriale e locale alla riqualificazione dei paesaggi agrari, e all'Art. 43, che stabilisce indirizzi per le aree di recupero ambientale.

Le N.T.A. (BURAS 8/9/2006) classificano il territorio regionale in quattro categorie di “valore paesaggistico”. Le aree caratterizzate da una “*identità storico culturale e insediativa compromessa in modo irrimediabile o del tutto cancellata*” vengono inquadrare nella categoria di minor valore paesaggistico e definite come “*territori degradati da interventi antropici*”, destinate al “*recupero, riqualificazione e rinaturalizzazione*”. L'allegato 1.1 specifica che “*sono da comprendere in questa categoria anche le aree interessate da attività estrattive dismesse, per le*

quali devono essere particolarmente curati e studiati, in sede di intervento di riqualificazione, recupero e rinaturalizzazione, le aree di confine e di discontinuità coi territori contermini, al fine di consentire l'integrazione mediante la modellazione dei profili e la creazione di schermi vegetali di essenze autoctone utilizzando tecniche di ingegneria naturalistica".

Il P.R.A.E. (Piano Regionale delle attività estrattive; L.R. 7 Giugno 1989, n. 30 art. 6) fa riferimento esplicito all'IN nella sua Relazione Generale (Ottobre 2007), in particolare nel cap. 12-Migliori Tecnologie Disponibili-, a partire dall'illustrazione dei *Criteri per la buona pratica di ricomposizione ambientale*. In sostanza gli interventi di IN vengono richiamati a beneficio del reinserimento ambientale dei luoghi di coltivazione. Nello specifico *"Il recupero deve essere finalizzato a riportare l'uso del suolo allo stato precedente l'inizio della coltivazione (si parlerà in questo caso di ripristino), oppure quella di migliorare dal punto di vista ambientale l'area di estrazione attraverso interventi che producano un assetto finale pregiato dal punto di vista ecosistemico e paesaggistico. Qualora il recupero avvenga rimodellando siti geomorfologicamente degradati da interventi scadenti fatti in precedenza, si parlerà anche di restauro ambientale"*.

Occorre tuttavia sottolineare come in questo strumento di pianificazione si tenda ad assimilare all'IN in s.s. le opere di Ingegneria civile mitigate (Cap. 12.2.1, p. 393).

Ulteriori contenuti normativi di interesse, alla scala regionale, per quanto attiene alla tematica in argomento, sono rappresentati infine da:

- il principale riferimento legislativo per il riutilizzo delle acque reflue è costituito dalla Direttiva Regionale concernente le "Misure di tutela quali-quantitativa delle risorse idriche tramite il riutilizzo delle acque reflue depurate", emanata in attuazione del Piano di tutela delle Acque, dell'art. 3, comma 5 della L.R. 14/2000, dell'art. 99 comma 2 del D.Lgs. 152/2006 e dell'art. 1 comma 4 del D.M. 185/2003, e approvata con Del. della G. R. n. 75/15 del 30.12.2008, che detta norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue recuperate, coerentemente con gli obiettivi del Piano di Tutela delle Acque (PTA);
- attraverso la L.R. n. 6 del 23 maggio 2008, altrimenti nota come Legge quadro in materia di consorzi di bonifica, finalizzata alla riorganizzazione delle funzioni dei consorzi di bonifica, al loro risanamento finanziario e al riordino dei relativi comprensori di bonifica, si è provveduto ad un adeguamento del regime di intervento dei consorzi di bonifica disciplinandone l'attività nel quadro della legislazione e programmazione regionale, in coerenza con le disposizioni dell'Unione Europea e nel contesto dell'azione pubblica nazionale, anche in applicazione dei principi contenuti nel D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006 (Norme in materia ambientale) e successive modifiche e integrazioni;

- il nuovo assetto delle competenze assegnate dalla R.A.S. agli enti locali (Province e Comuni) attraverso l'art. 61 della L.R. 9/2006, in merito alla progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione di opere idrauliche, etc., interventi di difesa del suolo e di prevenzione del rischio di frana e/o idrogeologico, ivi compresa la pulizia e la manutenzione dei corsi d'acqua naturali o inalveati;
- le procedure relative alla "Autorizzazione per il taglio delle piante e canne sul demanio idrico", in capo ai Servizi Territoriali del Demanio e Patrimonio dell'Assessorato degli EE. LL. FF. UU. della R.A.S. di concerto con gli Ispettorati Ripartimentali delle Foreste (I.R.F.), Ragioneria Regionale, Servizi del Genio Civile e Stazioni Forestali territorialmente competenti.

2.4.3 Quadro normativo e convenzioni sulla tutela della biodiversità alla scala comunitaria e nazionale

Per approfondimenti, si veda².

La tutela della biodiversità vegetale è disciplinata da trattati e convenzioni internazionali, da direttive e regolamenti comunitari e da leggi a carattere nazionale e regionale; di seguito vengono elencate, in senso cronologico, le principali normative sino ad oggi approvate a vario livello.

Convenzione di Washington – CITES

La convenzione CITES (1973) "sul commercio internazionale delle specie minacciate di estinzione", è stata adottata con il Reg. (CE) n. 338/1997 dall'Unione Europea e ratificata in Italia con Legge 19 dicembre 1975, n. 874; le modalità d'applicazione del regolamento sono individuate nel Reg. (CE) n. 1808 del 30 agosto 2001 (CE, 2001).

Nell'Allegato I della convenzione vengono riportate le specie in pericolo di estinzione che sono o possono essere danneggiate dal commercio; l'Allegato II indica le specie che, pur non essendo attualmente in pericolo di estinzione, potrebbero esserlo in futuro qualora il commercio non sia

² BIBLIOGRAFIA

- Comunità Economica Europea, 1982. Decisione 82/72/CEE del Consiglio, del 3 dicembre 1981, concernente la conclusione della Convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa (Convenzione di Berna). Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee L. 38, 10.02.1982.
- Comunità Europea, 2001. Regolamento (CE) n. 1808/2001 della Commissione del 30.08.2001 recante modalità d'applicazione del regolamento (CE) n. 338/97 del Consiglio, relativo alla protezione di specie della flora e della fauna selvatiche mediante il controllo del loro commercio. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee L. 250, 19.9.2001.
- European Communities, 1992 - Council Directive 92/43 EEC of 22.7.92. Official Journal of the European Communities, L. 206/7.
- Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1993 – Metodi Ufficiali di Analisi delle Sementi. Decreto Ministeriale 22 dicembre 1992. Supplemento ordinario n. 2 del 4 gennaio 1993. Gazzetta Ufficiale Serie Generale, Parte Prima.
- Williams C., Davis K., Cheyne P., 2003 - The CBD for Botanists: An Introduction to the Convention on Biological Diversity for people working with botanical collections. Royal Botanic Gardens, Kew.

soggetto a rigida regolamentazione; l'Allegato III riporta le specie identificate da una parte contraente il cui commercio deve essere soggetto a regolamentazione.

Per l'importazione, l'esportazione, la riesportazione e l'introduzione dal mare delle specie incluse nei suddetti allegati è necessario ottenere, per ogni singola spedizione, secondo le disposizioni degli artt. 3, 4 e 5 della Convenzione, un certificato conforme alle disposizioni dell'art. 6, secondo lo schema riportato nell'Allegato IV. Questo permesso, emesso da una Autorità Amministrativa dello Stato di appartenenza, ha una validità di sei mesi a partire dalla data di rilascio. Le disposizioni contemplate dagli stessi articoli, non vengono applicate a scambi tra scienziati o istituzioni scientifiche registrate, per l'Italia, presso il MATTM - Servizio Conservazione della Natura, ai sensi del Decreto Ministeriale del 23 marzo 1994, che abbiano per oggetto germoplasma o essiccata muniti di cartellino come riportato nell'Allegato IV del Reg. (CE) 1808/2001.

Con il Regolamento (CE) n. 349/2003 del 25 febbraio 2003, la Commissione Europea ha sospeso l'introduzione, nel territorio dell'UE, di esemplari delle specie di fauna e flora selvatiche riportate negli allegati. Questi ultimi, aggiornati al 23 giugno 2005, sono disponibili e scaricabili in rete all'indirizzo <http://www.cites.org/>.

Convenzione di Berna

La Convenzione di Berna "sulla protezione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa", firmata dagli Stati membri nel 1979 e ratificata dall'Italia nel 1981 (Legge n. 503/81), riporta nell'Allegato I l'elenco delle specie di flora selvatiche rigorosamente protette, per le quali è vietata la raccolta, la collezione, il taglio e lo sradicamento intenzionale (CEE, 1982). L'art. 9 della Convenzione prevede comunque che ogni parte contraente possa concedere delle deroghe all'art. 5, *"nell'interesse della protezione della flora e della fauna; per prevenire importanti danni a colture, bestiame, zone boschive, riserve di pesca, acque ed altre forme di proprietà; nell'interesse della salute e della sicurezza pubblica, della sicurezza aerea o di altri interessi pubblici prioritari; per fini di ricerca ed educativi, per il ripopolamento, per la reintroduzione e per il necessario allevamento; per consentire, sotto stretto controllo, su base selettiva ed entro limiti precisati, la cattura, la detenzione o altro sfruttamento giudizioso di taluni animali e piante selvatiche in pochi esemplari"*.

Prima Conferenza Interministeriale per la Protezione dei Boschi in Europa

Nell'ambito delle risorse genetiche forestali, la Prima Conferenza Interministeriale per la Protezione dei Boschi in Europa, svoltasi a Strasburgo nel 1990, ha affrontato la conservazione di tali risorse ed ha stimolato la presa di decisioni collegiali a livello paneuropeo. Si è cercato di dare vita a strategie comuni considerato il carattere transfrontaliero delle risorse genetiche, la responsabilità necessariamente condivisa e la maggiore efficacia della conservazione della variabilità intraspecifica che si può ottenere con questa filosofia. E' stata perciò proposta la cooperazione

tecnico-scientifica attraverso una serie di azioni e risoluzioni. In particolare la risoluzione n. 2, che riguarda la conservazione di risorse genetiche forestali, si basa sui seguenti principi:

- applicazione di azioni immediate considerate le risorse disponibili;
- privilegiare l'impiego di metodi semplici ed assicurare la loro applicazione nel lungo periodo;
- conservare tutti i livelli di variabilità genotipica;
- sottolineare l'applicazione di metodi in situ integrati nella gestione forestale, complementati, quando necessario, con la conservazione ex situ;
- conservare sia specie sia ecosistemi forestali rari;
- implementare a livello nazionale specifiche misure per la conservazione delle risorse genetiche in base ai principi appena enunciati, con particolare riguardo per le tecniche selvicolturali e la movimentazione e gestione del materiale forestale di moltiplicazione.

Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD)

La Convenzione sulla Diversità Biologica, firmata da 150 nazioni nel corso della Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992, rappresenta la prima iniziativa a scala planetaria per la conservazione della biodiversità e definisce le linee guida per l'elaborazione di strategie comuni volte alla salvaguardia di entità animali, vegetali e habitat, introducendo i concetti di conservazione in situ ed ex situ (Williams et al., 2003). Tale convenzione è stata ratificata dall'Italia con la Legge n. 124 del 14 febbraio 1994.

Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatica

Rappresenta il principale strumento europeo per la protezione della biodiversità e introduce il concetto di specie di interesse comunitario.

La Direttiva (EC, 1992) è stata recepita in Italia con il DPR 357/97 che riporta nell'allegato B (All. 2 della Direttiva) le "specie animali e vegetali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di Zone Speciali di Conservazione"; in quello D (All. 4 Direttiva) le "specie animali e vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa" e in quello E (All. 5 Direttiva) le "specie animali e vegetali di interesse comunitario il cui prelievo nella natura e il cui sfruttamento potrebbero formare oggetto di misure di gestione".

Per le specie inserite negli allegati B e D del DPR 357/97, è vietata qualsiasi forma di prelievo; tuttavia il Ministero dell'Ambiente (art. 11 DPR 357/97) può autorizzare il prelievo, in deroga alle prescrizioni previste, "per finalità didattiche e di ricerca, di ripopolamento e reintroduzione di tali specie e per operazioni di riproduzione necessarie a tal fine, compresa la riproduzione artificiale delle piante".

Direttiva 1999/105/CE relativa alla commercializzazione dei materiali forestali di moltiplicazione

Il Decreto Legislativo n. 386, approvato alla fine del 2003, recepisce i contenuti della Direttiva 1999/105/CE del Consiglio Europeo, relativa alla commercializzazione dei materiali forestali di moltiplicazione.

La Direttiva 105 introduce, nell'ambito delle problematiche forestali, i concetti di "sviluppo sostenibile" e "biodiversità" e prevede che "(...) gli Stati membri stabiliscano un elenco delle regioni di provenienza che precisi l'origine dei materiali di base; (...)" e che "(...) la demarcazione delle regioni di provenienza deve essere indicata dagli Stati membri tramite la redazione e pubblicazione di apposite mappe (...)".

La norma si applica alla produzione a fini di commercializzazione e alla commercializzazione stessa di materiale di propagazione per fini forestali appartenenti ad oltre 70 specie.

Una delle novità introdotte dal Decreto è rappresentata dal concetto di "regione di provenienza"; con tale definizione si intende "il territorio o l'insieme di territori soggetti a condizioni ecologiche sufficientemente uniformi e sui quali si trovano soprassuoli o fonti di semi sufficientemente omogenei dal punto di vista fenotipico e, ove valutato, dal punto di vista genotipico, tenendo conto dei limiti altimetrici ove appropriato".

Il D.Lgs. classifica i materiali forestali di propagazione in quattro categorie:

- identificati alla fonte: provenienti da materiali di base prodotti da una fonte di semi o da un soprassuolo ubicati in una singola regione di provenienza;
- selezionati: in questo caso il materiale deve essere anche fenotipicamente selezionato e rispondere a requisiti in merito a origine, isolamento, entità della popolazione, età e sviluppo, omogeneità, forma e portamento, stato sanitario, produzione quantitativa, qualità del legno;
- qualificati: materiale di propagazione proveniente da arboreti, da cultivar selezionate, da cloni o loro miscugli, i cui componenti siano stati fenotipicamente selezionati a livello individuale e che soddisfino determinati requisiti;
- controllati: materiali la cui superiorità è stata dimostrata per mezzo di prove comparative.

La produzione, conservazione, commercializzazione e distribuzione a qualsiasi titolo di materiale soggetto alla disciplina del Decreto sono subordinate al conseguimento di apposita licenza (art. 4) rilasciata dall'organismo ufficiale. Tali disposizioni non si applicano agli Istituti universitari, agli Enti pubblici di ricerca e sperimentazione, nonché ai centri nazionali per la conservazione della biodiversità forestale relativamente ai materiali forestali di moltiplicazione usati esclusivamente a fini di ricerca e sperimentali.

Entro un anno dalla data di entrata in vigore del decreto (art. 10), le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano devono istituire un registro dei materiali di base delle specie elencate nell'allegato I presenti nel proprio territorio.

La demarcazione delle regioni di provenienza deve essere indicata tramite la redazione e pubblicazione di apposite cartografie, realizzate secondo criteri omogenei. Le cartografie vengono inviate al Ministero e, tramite questo, alla Commissione Europea e agli altri Stati membri.

Normativa e provvedimenti nazionali collegati

A livello nazionale manca ad oggi una legge organica di tutela della flora, in quanto con due atti legislativi (DPR 616/1977 e L. 984/77), lo Stato ha delegato alle Regioni le funzioni relative alla protezione delle bellezze naturali e le funzioni amministrative concernenti gli interventi per la protezione della natura, nonché l'obbligo di tutelare la flora spontanea.

Le uniche norme a livello nazionale per la difesa della flora sono il Regio Decreto n. 3267 del 1923 di riordino e riforma della legislazione dei boschi e terreni montani detta anche "Legge Forestale", la legge a tutela dell'olivo (Legge 144/51 e DPR 10/06/1955) e la legge 06/01/1931 per la "Disciplina della coltivazione, raccolta e commercio delle piante officinali".

D.M. 22 dicembre 1992 "Metodi ufficiali di analisi per le sementi"

I metodi ufficiali di analisi per le sementi costituiscono le norme con cui in Italia si determina la qualità dei semi di specie erbacee, arboree, arbustive, floricole e officinali, siano esse coltivate o meno. Vengono aggiornati con una certa periodicità e recepiscono norme internazionali. Sono di particolare importanza nel commercio dei semi dove il prezzo è funzione della qualità. Nell'allegato al Decreto sono illustrati in dettaglio i metodi di campionamento, l'analisi della purezza, il test di germinabilità (con la specifica delle condizioni a cui devono essere condotte le prove per ogni specie), la determinazione della vitalità con saggio biochimico (colorimetrico), il calcolo dell'umidità dei semi, la determinazione del peso di 1000 semi, l'analisi dei semi confettati (o ricoperti) e varie altre prove.

Proposta di Piano Nazionale sulla Biodiversità

Una proposta di Piano Nazionale sulla Biodiversità è stata redatta dal Comitato di consulenza per la Biodiversità e la Bioetica del Ministero dell'Ambiente con D.M. 97/568 del 15 maggio 1997.

Tale strumento nasce come atto dovuto a seguito della Conferenza di Rio de Janeiro del 1992 ed alla relativa Convenzione sulla Diversità Biologica sottoscritta dall'Italia nel 1994. Esso racchiude numerosi obiettivi, tra i quali si evidenziano, per l'attinenza agli argomenti trattati in questo testo, i seguenti:

- obiettivo 4 "Conservazione in situ", ob. 4.3 "Restauro e riabilitazione degli ecosistemi degradati, difesa e recupero delle specie minacciate";

- obiettivo 7 "Conservazione ex situ", ob. 7.1 "Realizzazione di una rete integrata di centri di conservazione del germoplasma"; az. 7.1.1 "Censimento delle collezioni di germoplasma"; az. 7.1.2 "Istituzione di una banca dati accessibile con sito web"; az. 7.2.2. "Rinnovamento collezioni ed ampliamento"; az. 7.2.3 "Istituzione di nuovi centri per la conservazione"; az. 7.2.4 "Istituzione di vivai per la produzione di specie autoctone"

3 Prima dell'applicazione dell'IN

3.1 Prevenzione del rischio idrogeologico

3.1.1 Principi fondamentali

Prima di entrare nel merito della sezione portante delle linee guida, più specificamente riferita all'applicazione delle tecniche di IN, un aspetto fondamentale che verrà trattato è quello della prevenzione dai pericoli e dai rischi idrogeologici, poiché è da ritenersi azione prioritaria nella politica di difesa del suolo (come peraltro indirizzano le leggi nazionali e i piani di bacino). L'applicazione dell'IN avverrà quindi a valle di un'azione volta, prima di tutto, a ridurre le problematiche del bacino tali da determinare il rischio.

Si riporta quindi di seguito una breve descrizione di quelle che riteniamo siano le "linee di azione" da sviluppare, nell'ottica applicativa dei moderni principi della Riqualificazione Fluviale. Ci si riferisce ai fiumi in quanto contesto di riferimento principale dell'assetto idrogeologico di bacino, ma i principi esposti si rivolgono più in generale all'intero bacino idrografico, e quindi si applicano ai diversi contesti territoriali anche esterni alle aste fluviali.

- a) Intervenire a livello di intero territorio del bacino idrografico. I problemi idraulico-ambientali dei corsi d'acqua dipendono essenzialmente dallo stato del loro bacino, pertanto, per ridurli, occorre intervenire sulla riqualificazione idraulico-forestale del territorio, sulla limitazione degli impatti determinati dagli insediamenti umani e dalle infrastrutture, sulla riduzione dei consumi e sulla depurazione degli scarichi inquinanti e, più in generale, su tutte le attività antropiche che incidono sull'assetto idrogeologico e ambientale (es. le cave e le colture agro-forestali).
- b) Recuperare l'equilibrio geomorfologico fluviale e ripario. Poiché il fiume e gli ambiti ripari naturali devono essere considerati come modello di sé stessi, risulta prioritario cercare di recuperare o mantenere forme naturali piuttosto che imporre soluzioni artificiali. Ciò significa permettere al fiume, quando possibile e opportuno, di evolvere e migrare liberamente all'interno di una fascia definita, in modo da mantenere o recuperare le forme naturali e la loro caratteristica funzionalità, dinamicità morfoevolutiva e periodicità. Connessa a tale impostazione risulta anche l'esigenza di definire strategie finalizzate a mantenere, favorire o ripristinare la continuità del trasporto di sedimenti e materiali organici da parte del sistema fluviale.
- c) Contenere, ridurre e, possibilmente, eliminare la presenza di beni a rischio. Per questo risulta necessario:

- evitare l'ulteriore occupazione di pertinenze fluviali (Fig. 3.1) inserendo negli strumenti urbanistici vincoli di inedificabilità (attività in atto con la pianificazione denominata Piano Stralcio delle Fasce Fluviali -PSFF);



Fig. 3.1 - Riu San Teodoro, centro abitato: edificato a diretto contatto con le opere di protezione realizzate precedentemente all'evento alluvionale del 24 Settembre 2009 – Foto G. Tilocca.

- promuovere la delocalizzazione dei beni a rischio attraverso normative e incentivi economico-finanziari o di altra natura.
- d) Meno opere, più gestione, amministrazione e responsabilizzazione. Le azioni consistono nel:
- I) attivare meccanismi finanziario-gestionali basati sulla partecipazione e responsabilizzazione tesi a rendere finanziariamente autosufficiente la gestione del sistema distribuendo equamente gli oneri; per esempio garantendo una immediata e soddisfacente compensazione dei danni ogni volta che essi si presentino (oppure una tantum subito, proporzionalmente alla probabilità dell'evento), anche attivando polizze assicurative.
 - II) informare, sensibilizzare, educare.
 - III) attivare sistemi di monitoraggio, previsione, allarme e piani di protezione civile e gestire in modo multiobiettivo i serbatoi idrici;
 - IV) mantenere gli alvei, le opere idrauliche e di difesa (per questo sarà importante concepire gli interventi puntando, per quanto possibile, al loro autosostentamento, che consentirebbe di minimizzare le esigenze di manutenzione).
- e) "Decementificare e rinaturare". L'artificializzazione del territorio, ed in particolare dei corsi d'acqua, è responsabile dell'incremento del rischio a livello di bacino oltre che del degrado ambientale e del ciclo delle risorse idriche. In molte condizioni, almeno fino al medio termine, non è possibile adottare una soluzione diversa, sia per motivi economici che sociali. In tanti altri casi invece non solo è possibile, ma può risultare anche molto conveniente, grazie ai benefici derivanti. La casistica della decementificazione può comportare spesso l'applicazione alternativa di opere di IN.

La trattazione di questi argomenti si limita a questo accenno a livello generale poiché, pur assumendo un'importanza notevole sul piano concettuale, esulano da una trattazione manualistica delle linee guida sulle tecniche di IN. Tuttavia, per un loro significativo approfondimento si rimanda al lavoro redatto dal CIRF (2006).

3.1.2 *Aspetti pianificatori*

In Sardegna il quadro pianificatorio regionale sul rischio idrogeologico è contenuto nelle tavole delle Perimetrazioni delle aree di pericolosità e di rischio del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (noto come P.A.I. o P.S.A.I.) della R.A.S. (Assessorato dei Lavori Pubblici; 11 Marzo 2005) che rappresenta il primo significativo strumento di prevenzione idrogeologica organizzata e disciplinata, vigente sul territorio della Sardegna.

Le Norme di Attuazione del P.A.I. (introdotte gradualmente a partire dal 2005, definitivamente approvate con Decreto P.R. del 10/7/2006; [BURAS n.25 del 29/7/2006] e successivamente aggiornate con D.P.R. n. 35 del 21/03/2008), ne sono parte integrante e costituiscono, al momento, il principale riferimento amministrativo per la prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici, in quanto forniscono gli indirizzi per la pianificazione urbanistica e per l'uso di aree della costa, per la gestione delle attività produttive che implicino usi specifici del territorio (agricoltura, selvicoltura, pastorizia, attività estrattive) nel Distretto Idrografico Regionale.

Gli art. dal n. 1 al n. 6 (Titolo I) forniscono le "Norme generali"; dal n. 7 al n. 22 (Titolo II) espongono le disposizioni finalizzate alla "Prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici", mentre gli articoli dal n. 23 al n. 34 illustrano le modalità per il "Controllo del rischio nelle aree di pericolosità idraulica e geomorfologica" e la conseguente disciplina degli interventi. Si noti che sempre nel Titolo III l'art. 26 istituisce anche le "Aree pericolose non perimetrate nella cartografia di piano" per le quali viene prevista la delimitazione in scala 1:2000 da parte dei Comuni nella pianificazione di adeguamento al P.A.I. e la conseguente applicazione delle prescrizioni individuate dalla stessa pianificazione tra quelle per le aree di pericolosità molto elevata, elevata e media.

Gli artt. dal n. 35 al n. 37 (Titolo IV) trattano delle Norme di Attuazione ed Aggiornamenti. Nei 6 Allegati alle norme si forniscono gli elenchi dei comuni con criticità idrauliche e geomorfologiche (Allegati A, B, C, D) ed i criteri per la redazione degli studi di compatibilità (Allegati E ed F).

La stragrande maggioranza degli interventi di mitigazione e di salvaguardia attuati con finanziamento pubblico sul territorio della Sardegna sono stati realizzati nelle aree perimetrate dal P.A.I. .

Da notarsi che, per quanto attiene ai litorali, la pianificazione di assetto idrogeologico non dispone al momento di uno specifico Piano di Salvaguardia.

3.2 Significato e principi applicativi dell'IN

3.2.1 Premessa e definizione di IN

Si ritiene prioritario iniziare le linee guida chiarendo il significato di termini e caratteristiche delle tecniche di IN, questo perché sono molti i casi di disomogeneità interpretativa già avvenuti in Italia che hanno determinato spesso anche gravi problemi nella pratica applicativa delle tecniche stesse (degrado ambientale, inadeguato funzionamento delle opere, raggio nei confronti di cittadini e soggetti interessati, confusione giuridico-amministrativa, concorrenza sleale fra tecnici e fra imprese, spreco di soldi, ecc.).

Tale chiarimento serve quindi anche per precisare quali saranno le tecniche trattate nel presente studio, evitando malintesi.

Per maggior rigore e oggettività, si riportano le definizioni proposte dal prof. U.M. Schiechl (†), considerato il padre storico dell'IN a livello mondiale, dall'Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica (AIPIN) e dal Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale (CIRF); tali definizioni vengono adottate nei paesi europei dove l'IN è applicata abitualmente e rigorosamente da svariati anni.

DEFINIZIONE DI IN

“Disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname, acciaio” (Schiechl , 1991)

“La differenza sostanziale risiede nell'introduzione di un nuovo obiettivo (avvicinarsi allo stato naturale) e nell'utilizzo di materiale vegetale vivo come principale elemento strutturale. Con questa modalità si perseguono sia obiettivi di assetto idraulico sia, allo stesso tempo, di miglioramento della qualità paesaggistico-ecologica.”³

In sostanza si considerano tecniche di IN quelle che impiegano materiale vegetale vivo come elemento strutturale principale (funzione “biotecnica”), ed eventualmente altri materiali a fini di supporto, ma sempre di tipo o origine naturale (legname, tessuti di origine vegetale, vegetali morti, ferro, pietrame, inerti) e con ruolo subordinato (importanti perlopiù nella prima fase di attecchimento del vegetale vivo).

Le opere che non rientrano in questa definizione sono quindi da intendersi o di ingegneria civile strutturale o di ingegneria denominata “integrata”. Quest'ultima consiste nell'applicazione contestuale di elementi vegetali e naturali e di elementi strutturali artificiali, con ruolo geotecnico

³ Rielaborato da M. Bacci da definizioni tratte da documenti AIPIN e CIRF

essenziale. Esempi significativi sono: gabbionate rinverdite, scogliere rinverdite, terre armate verdi, georeti in materiale sintetico rinverdite.

Al fine di offrire un'indicazione utile alle problematiche applicative che non possono essere soddisfatte dall'IN (intesa come precedentemente affermato), in queste linee guida verranno accennate anche le possibilità applicative delle tecniche integrate, che potranno essere adottate laddove non è proprio possibile applicare quelle di IN. Non si entrerà però nei dettagli, dato che si tratta di tecniche ampiamente conosciute e che sono meno condizionate dal contesto applicativo e biogeografico.

3.2.2 *Principi dell'IN*

L'IN nasce quale evoluzione delle tradizionali opere idraulico-forestali (tant'è che inizialmente era stata denominata in italiano "bioingegneria forestale") come un insieme di tecniche finalizzate a mitigare l'effetto degli interventi di difesa idraulica e idrogeologica o per migliorare l'inserimento paesaggistico (ecologico, ambientale, visuale) di infrastrutture, aumentando l'efficacia dell'azione attraverso le proprietà biologiche delle piante utilizzate.

L'IN è una scienza ibrida la cui riuscita necessita di ampie conoscenze: quelle botaniche (geobotaniche, fitosociologiche, di ecologia vegetale) e agronomiche sono le principali per quanto riguarda la componente vivente; quelle fisiche, meccaniche e della dinamica dei suoli, dei materiali ausiliari, geologia, pedologia e idraulica sono indispensabili alla buona riuscita della loro applicazione.

Uno dei principi fondamentali nella concezione delle soluzioni contro l'erosione o nell'ambito delle sistemazioni a fini ecologici, consiste nel basarsi sull'interpretazione dell'evoluzione e del funzionamento naturale del "sistema" fisico-ambientale, delle sue caratteristiche e, in particolare, della sua dinamica, seguendo un approccio olistico, ovvero considerando le sue componenti in modo interdipendente, dinamico e spaziale, facendo riferimento all'ecosistema interessato.

La Tabella seguente illustra il processo logico che si dovrebbe percorrere per giungere alla definizione dell'approccio e delle modalità di intervento. In sostanza, si deve tendere ad avvicinarsi il più possibile alle condizioni naturali, ovvero minimizzare gli impatti ambientali dell'eventuale intervento. Si ricorrerà quindi a tecniche maggiormente impattanti se e solo se non fosse possibile farne a meno, per motivi tecnici.

1. Bisogna <i>realmente intervenire?</i> (Opzione zero – valutare le conseguenze di un non-intervento).
2. Valutare se una <i>gestione mirata</i> della vegetazione esistente può risolvere le cause dell'erosione.
3. Valutare se <i>l'IN</i> può soddisfare le esigenze di protezione.
4. Stabilire se <i>tecniche combinate</i> (IN – sistemazioni forestali – ingegneria civile) possono risolvere il problema.
5. Applicare, <i>solo a questo stadio</i> , una tecnica abituale di ingegneria civile ragionevole e proporzionata alla situazione.

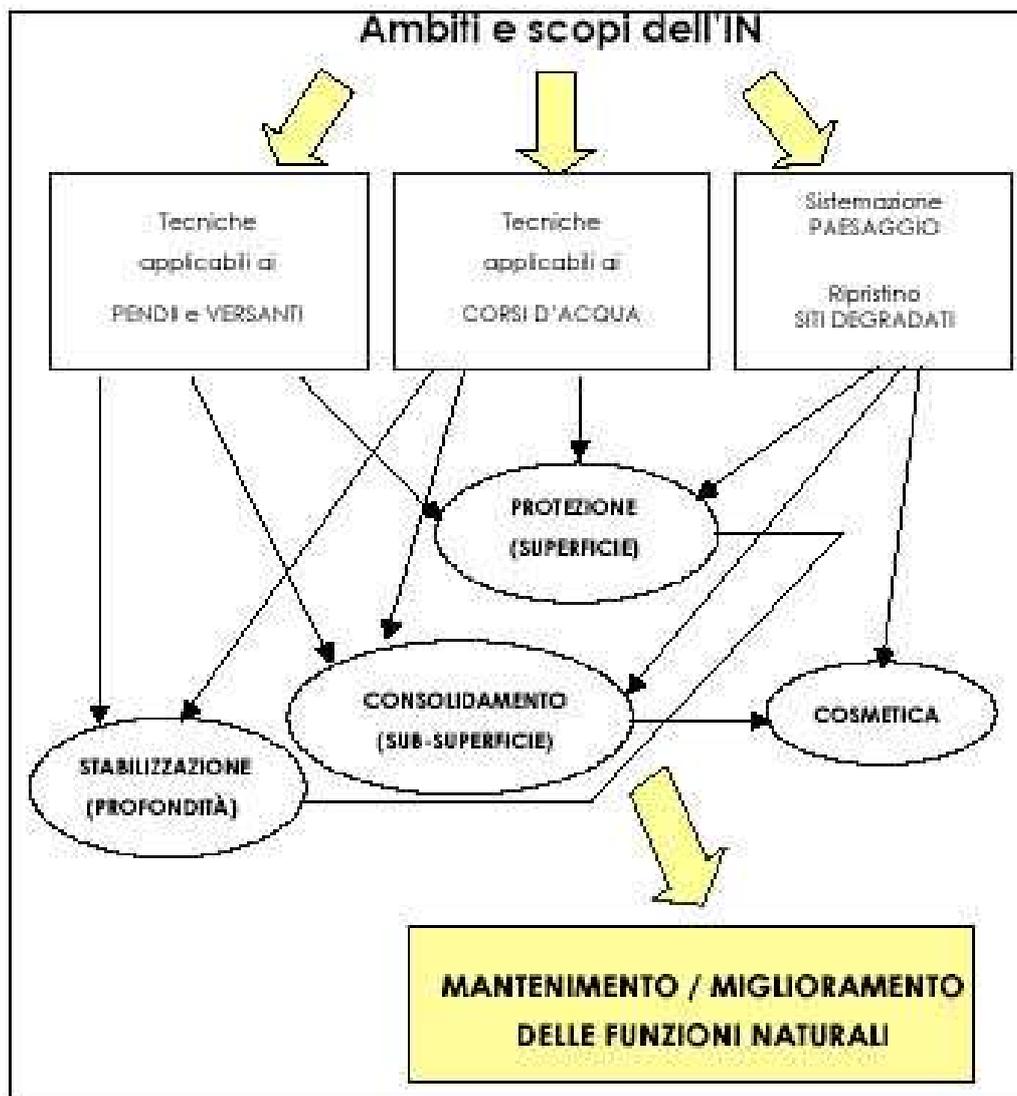
Trattamento logico delle erosioni in un corso d'acqua (secondo Lachat, 1994)

L'IN, quindi, non deve unicamente accontentarsi di risolvere i problemi dal punto di vista tecnico, ma deve contribuire, fortemente e imperativamente, al mantenimento e al miglioramento delle funzioni biologiche del sito e della biodiversità.

3.2.3 *Altre definizioni che possono interessare l'IN*

Per assimilare meglio principi e filosofie di intervento, è importante chiarire i diversi significati dei termini usati in questo settore.

Il termine rinaturalizzazione (rinaturalizzazione e rinaturazione sono usati indifferentemente e sono da considerare sinonimi) compare ad esempio anche al comma 1 dell'art. 37 della L.R. 8/8/1998, n°14 (Regione Lombardia) "*Nuove norme per la disciplina delle coltivazioni di sostanze minerali di cava*", che recita: "*Nei corsi d'acqua e nel demanio fluviale e lacuale è vietata l'estrazione di materiali litoidi; tale divieto non si applica alle estrazioni che derivano da interventi di difesa sistemazione idraulica finalizzati al buon regime delle acque e alla rinaturalizzazione dei corsi d'acqua*".



Da Bacci & Paltrinieri (2004)

Da questi brevi riferimenti si evince come rinaturazione e IN possano in qualche modo essere confusi e sovrapposti. Se l'IN è quanto definito da Schiechl (1991) poi ampliato nel "Quaderno delle opere tipo di Ingegneria Naturalistica" (Regione Lombardia, 2000) a cui si farà riferimento nel seguito pubblicato con Deliberazione della G.R. lombarda 29 febbraio 2000 n°6/48740 - vi è l'esigenza di soffermarsi di più sul concetto di rinaturazione. Si tratta di un termine spesso utilizzato sotto diversi significati, che si rifanno generalmente alla *restoration ecology*. Si ritiene utile, prima di proporre una definizione adeguata alle finalità del presente lavoro, citare alcune delle definizioni più comunemente usate anche all'estero⁴:

- **"Restauro e rinaturazione:** il termine restauro o ripristino (restore) significa "riportare... all'origine o allo stato originario". Il restauro ecologico (ecological restoration) significa quindi "restaurare" un ecosistema o parte di esso. Restoration è considerata spesso una forma distinta di gestione

⁴ Parte delle quali riprese da Meffe & Carroll, 1994.

ambientale, differente dalla "salvaguardia", "conservazione" o "gestione" stessa. Non c'è una netta distinzione tra queste forme di manipolazione. Tutte tendono a compensare gli effetti ecologici dovuti ad alterazioni causate dalle attività umane.

- Riabilitazione e rivitalizzazione. Questo è un ampio termine che può essere usato per spiegare i tentativi di ripristinare elementi di strutture o funzioni di un sistema ecologico, senza necessariamente cercare di raggiungere completamente il suo "restauro" (restoration) come specifica condizione prioritaria; per esempio la messa a dimora di piante in un sito preventivamente eroso.
- Risanamento e bonifica. Questo termine è tipicamente riferito al ripristino di aree fortemente degradate, ad esempio da attività industriali e minerarie. Attraverso il lavoro di bonifica si possono avere piccole ricadute di rinaturazione in senso pieno (non è raggiunta una "copia" dell'ambiente originario): è un primo stadio verso il ripristino di un più naturale ecosistema. Sfortunatamente le discipline della bonifica e della rinaturazione si sono sviluppate più o meno indipendentemente e solo recentemente hanno raggiunto un significato tra loro ricorrente.
- Recupero e ripresa ecologica. La ripresa è lasciata solo all'evoluzione del sistema, generalmente nella speranza che si ripristinino le caratteristiche desiderate attraverso la successione naturale. Questo approccio di "ordine zero" alla rinaturazione può anche non funzionare. Si tratta del miglior recupero, se sussistono le condizioni, e a volte può semplicemente essere utile favorire il processo naturale. Recupero. si riferisce a qualsiasi intervento che tende a riportare un sito degradato in uno stato "accettabile" e, in molti casi, fruibile. Il recupero può avere finalità di ripristino ambientale ma può essere anche volto solamente al miglioramento estetico, oppure consiste in una radicale trasformazione dell'area degradata per un nuovo uso (es. sportivo-ricreativo, urbanistico, artigianale, ecc.)
- Biorisanamento e fitorisanamento. Il termine è riferito al ruolo che può essere svolto da numerosi organismi viventi (microrganismi, funghi, piante) nel degradare composti organici (bio- o fitodepurazione) oppure di stabilizzare ioni inorganici tossici immobilizzandoli nel substrato (bio- o fitostabilizzazione) o accumulandoli nei tessuti viventi (fitoestrazione). Il termine fitodepurazione è comunemente usato con particolare riferimento ai reflui urbani o delle aziende agricole, caratterizzati da elevate concentrazioni di nutrienti.

La rinaturazione è intesa come "*l'insieme degli interventi e delle azioni atte ad innescare processi evolutivi naturaliformi ripristinando le caratteristiche ambientali e la funzionalità ecologica di un ecosistema in relazione alle sue condizioni potenziali*", determinate dalla sua ubicazione geografica, dal clima, dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito e dalla sua storia naturale pregressa. La rinaturazione può essere estrema, quando si pone l'obiettivo di ripristinare le condizioni naturali potenziali preesistenti di un'area, così come può essere realizzata in funzione di obiettivi intermedi o specifici (es. ripristino della capacità di laminazione; riduzione della

velocità di corrivazione; recupero della capacità autodepurativa; salvaguardia di specie di particolare pregio, etc.).

La rinaturazione non va confusa con gli interventi di minimizzazione d'impatto ambientale o d'inserimento paesaggistico, in quanto li differenzia sostanzialmente l'obiettivo principale: nella rinaturazione è il ripristino di caratteristiche ambientali (riqualificazione di un bosco o di una zona umida, reintroduzioni di specie, interventi su habitat o specie rare, azioni di contenimento di specie alloctone infestanti, etc.) o della funzionalità ecologica (recupero della capacità di esondazione, ripristino della continuità ecologica, recupero della capacità autodepurativa di un corso d'acqua, etc.); mentre nel caso della minimizzazione d'impatto ambientale (che può avvenire con tecniche d'IN o d'inserimento paesaggistico di vario genere) è soprattutto la riduzione appunto dell'impatto ambientale o il miglioramento dell'inserimento paesaggistico di opere o interventi che hanno finalità diverse. Ad esempio il consolidamento di una scarpata con tecniche di IN ha uno scopo prevalente ben preciso (il consolidamento appunto) e non necessariamente un obiettivo di rinaturazione, ma è evidente il vantaggio di utilizzare tecniche che consentono un inserimento ambientale adeguato e lo sfruttamento delle caratteristiche biologiche dei materiali vivi usati, piuttosto che utilizzare tecniche o materiali ad alto impatto ambientale.

D'altra parte, è intuibile come, in alcuni casi, grazie all'uso delle tecniche di IN, pur finalizzate alla sistemazione del suolo, si ottengano allo stesso tempo risultati in termini di rinaturazione (ri-creazione di biotopi o di corridoi ecologici, etc.).

E' quindi evidente che l'IN rappresenta un mezzo (l'insieme di specifiche tecniche "verdi"), mentre la rinaturalizzazione e la difesa del suolo rappresentano dei fini, entrambi raggiungibili, in diversi casi, grazie all'applicazione delle tecniche di IN.

3.3 Presupposti all'applicazione dell'IN e alla scelta delle tecniche

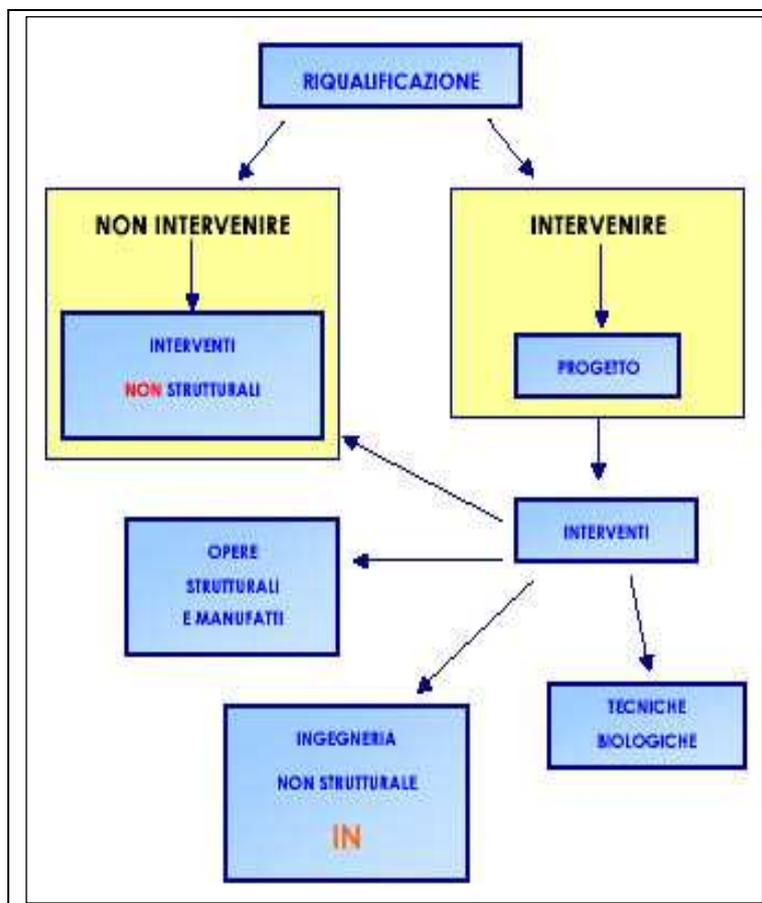
Dopo la trattazione degli argomenti propedeutici (prevenzione del rischio e definizione di IN), prima di entrare nel merito dell'applicazione pratica delle tecniche di IN, si descriveranno i criteri che portano alla decisione di intervenire e, successivamente, alla scelta delle tecniche da impiegare in relazione ai fattori da considerare. Si riporta di seguito il relativo percorso logico e cronologico che si ritiene opportuno seguire (*check list*).

a) *Realizzare interventi strutturali solo dove giudicato indispensabile.* Tale principio consiste nel valutare, in termini di costi-benefici (tenendo conto però di tutti i fattori influenzati, compresi quelli paesaggistico-ambientali, anche se non monetizzabili, secondo il principio dell'analisi multicriterio), le opzioni d'intervento nei diversi contesti e situazioni contingenti. Pertanto in determinate situazioni, come nel caso di aree interessate da rischio ma a basso valore

intrinseco (es. agricole, zone verdi), può risultare preferibile evitare l'intervento strutturale di difesa attiva, adottando piuttosto meccanismi per *convivere con il rischio*.

- b) *Adottare opere a minimo impatto*: solo qualora sarà stata valutata la necessità di intervenire con opere strutturali, si dovranno applicare soluzioni tali da generare il minore disturbo possibile nei confronti dell'ambiente; entrano quindi in gioco le tecniche di IN.
- c) *Inserimento degli interventi nel paesaggio*. Gli interventi dovranno essere valutati tenendo presente i caratteri del paesaggio in cui si inseriscono. Una particolare attenzione andrà rivolta alle naturali dinamiche vegetazionali tipiche del territorio, al fine di selezionare le specie più idonee ad una rapida ricostituzione delle fitocenosi spontanee. Ciò porterà vantaggi alla qualità complessiva dell'ambiente e degli ecosistemi.
- d) *Migliorare la qualità degli ecosistemi*. Il miglioramento degli ecosistemi si persegue contestualmente alla sopra descritta restituzione delle pertinenze fluviali a fini idraulici; però si può realizzare un ulteriore miglioramento approfittando dell'occasione per rivitalizzare opportunamente le aree interessate mediante il recupero e ripristino di biotopi, la riqualificazione della vegetazione, la loro destinazione a fini naturalistici.
- e) *Tutelare o migliorare la qualità delle acque*: favorendo il recupero della capacità autodepurativa del corso d'acqua in accordo con quanto previsto dalla Direttiva 2000/60 e dal recente D.L. 3 aprile 2006 n. 152, che afferma (art. 115): "al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino della vegetazione spontanea nella fascia immediatamente adiacente i corpi idrici, con funzione di filtro per i solidi sospesi e gli inquinanti di origine diffusa, di stabilizzazione delle sponde e di conservazione della biodiversità da contemperarsi con le esigenze di funzionalità dell'alveo, entro un anno dall'entrata in vigore della parte terza del presente decreto, le regioni disciplinano gli interventi di trasformazione e di gestione del suolo e del soprassuolo previsti nella fascia di almeno 10 metri dalla sponda di fiumi, laghi, stagni e lagune comunque vietando la copertura dei corsi d'acqua, che non sia imposta da ragioni di tutela della pubblica incolumità, e la realizzazione di impianti di smaltimento dei rifiuti".
- f) *Creare opportunità per una fruizione sostenibile degli ambiti fluviali*: sarà importante approfittare della sistemazione fluviale per creare opportunità di fruizione naturalistica e didattica, migliorando l'accessibilità in certe zone (attraverso percorsi, arredi, strumenti didattici) e controllando quest'ultima nelle aree naturali più pregiate e vulnerabili. Il coinvolgimento di enti, strutture ed associazioni locali che operano nel settore della comunicazione e didattica ambientale dovrebbe consentire di proporre l'intervento di riqualificazione fluviale come oggetto di percorsi e progetti educativi e di sensibilizzazione ambientale per la popolazione.
- g) *Scelta della tecnica in relazione alle esigenze prestazionali e gestionali*: una volta ristretto il campo alle tipologie di intervento che soddisfino le precedenti prerogative (di ordine

ambientale e sociale), occorre individuare la tecnica che risponde meglio alle prestazioni meccaniche richieste (biotecniche). La scelta dovrà comunque rispondere ai criteri di minima energia e minima manutenzione.



Riqualificazione e IN – Da Bacci & Paltrinieri (2004)

3.3.1 Criteri in termini di qualità

In una prospettiva di protezione contro l'erosione o di rinforzo della stabilità dei suoli, sembrerebbe, dal momento in cui si inserisce del materiale vegetale vivo (o una parte di questo) nel suolo, che si possa sempre ammettere che si stia facendo dell'IN. Talvolta però l'illusione può essere totale e mascherare completamente una triste realtà dei risultati e dei fatti.

Si deve infatti tenere in particolare presente che la cosmetica non è sempre funzionale, sia a livello tecnico sia a livello biologico, e che la presenza di "verde" non significa forzatamente che si è di fronte ad un modello di biodiversità.

La tabella seguente cerca di dare qualche linea direttrice, qualche nozione d'apprezzamento e di distinzione tra ciò che si potrebbe definire "vera" piuttosto che "falsa" IN.

È comunque opportuno premettere che non è inequivocabilmente possibile catalogare tutto in questi due termini e che, pertanto, la tabella rappresenta una semplificazione. La nozione di

“vero/falso”, “giusto/sbagliato”, “si/no”, “per/contro”, “buono/cattivo” (in realtà, una semplice relazione binaria) non può essere il riflesso di tutto un insieme di tecniche; mancano in effetti molte sottigliezze. Tuttavia, come anticipato sopra, molte realizzazioni che vengono catalogate come di IN potrebbero essere classificate in una o nell'altra colonna, senza ombra di equivoci. La seguente tabella intende proporre elementi per poter meglio distinguere quali tipologie di tecniche possano rientrare fra quelle di IN e quali invece non vi hanno nulla a che vedere.

Lo scopo di tale elenco è quindi quello di permettere una riflessione sui tipi di problemi ai quali è necessario confrontarsi sia durante la concezione sia durante la realizzazione.

INGEGNERIA NATURALISTICA	
La vera	La falsa
Il materiale vegetale vivo è l'elemento che stabilizza e consolida il suolo proteggendo anche la sua superficie.	Il materiale vegetale vivo non è che un elemento cosmetico in strutture del genio civile (massicciate in blocchi, gabbioni, diversi sistemi brevettati, ...).
La ricolonizzazione e lo sviluppo spontaneo dei vegetali autoctoni sono favoriti per permettere una normale evoluzione naturale.	Lo sviluppo spontaneo, la ricolonizzazione o l'evoluzione normale sono impossibili. Generalmente sono le specie esotiche invasive che colonizzano il sito.
In condizioni particolari, dove lo sviluppo spontaneo non è possibile, le specie vegetali utilizzate sono numerose, variate e indigene . L'obiettivo da raggiungere, oltre alla protezione e/o la stabilizzazione, è l'aumento dei livelli qualitativi di biodiversità . I lavori di ripristino offrono degli ambienti vitali ad una grande varietà di organismi viventi.	Solo una o due specie sono utilizzate. La qualità biologica e la biodiversità sono dunque quasi nulle . La sistemazione non costituisce un ambiente vitale per numerose specie vegetali e animali.
Il vegetale, il suolo, l'acqua formano un tutt'uno coerente e in stretto interdipendenza. Sono favorite tutte le condizioni per permettere e favorire lo sviluppo completo delle successioni vegetali e delle relazioni fauna-flora, sulla base dei modelli naturali.	Il vegetale, il suolo, l'acqua non sono in stretta relazione. Degli squilibri biologici sono favoriti. Solamente i vegetali piantati possono mantenersi per qualche tempo. Non esiste un rinnovamento della vegetazione né tantomeno una sua trasformazione in aspetti più evoluti (successione). Lo sviluppo naturale è assente, manifestandosi in un impoverimento biologico. Spesso è osservata una colonizzazione da parte di specie esotiche invasive.
La concezione è basata su conoscenze, geolitologiche, geomorfologiche, pedologiche, geotecniche, idrauliche, botaniche ed ecologiche. L'osservazione e la comprensione dei fenomeni esistenti sul terreno e dei modelli naturali costituiscono la base delle soluzioni e delle tecniche. Biologia e fisica s'incontrano. Il mondo biotico incontra e interagisce con quello abiotico.	La concezione è basata unicamente su parametri fisici e matematici e non integra (se non minimamente) l'ecologia e gli altri fattori.
Uno dei criteri di riuscita di un'opera d'IN: dopo qualche anno, non è più visibile alcun segno dell'intervento umano. Il ripristino forma una o più cenosi vegetali inserite nelle dinamiche seriali naturali , che si integrano perfettamente nel paesaggio, e presentano composizione floristica tipica di un ambiente naturale.	Malgrado sia rivegetata, l'area ripristinata presenta delle discordanze con i modelli naturali e le specie vegetali presenti non sono tipiche di un ambiente intatto. La semplificazione e la banalizzazione sostituiscono l'eterogeneità e la diversità.

Qualche differenza essenziale tra vera e falsa IN a livello dei concetti e dei risultati – Da Bacci & Paltrinieri (2004)

Se l'utilizzo del materiale vegetale è una condizione obbligatoria per la costruzione di opere d'IN, non tutte le opere che impiegano dei materiali vegetali (vivi o morti) possono essere chiamate "d'IN". L'analisi di lavori realizzati mostra talvolta che, sebbene denominate d'IN, alcune opere sono in realtà solo di "pseudo-ingegneria naturalistica" o di "ingegneria tradizionale rinverdita", dove il

vegetale è utilizzato come semplice elemento di cosmetica oppure viene impiegato solo laddove le forze idrauliche sono minime.

Attualmente vi è una certa infatuazione per le tecniche d'IN, con il rischio di vederle applicare "alla bene-meglio". Se si prende l'esempio della Francia, dove è stato realizzato un bilancio delle realizzazioni in IN su scala nazionale (Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2005), si possono trarre alcune considerazioni :

- I tecnici e gli uffici di ingegneria ambientale che dispongono di reale conoscenza ed esperienza delle tecniche d'IN, oltre che dei processi erosivi, idraulici e ambientali legati alla dinamica fluviale, sono ancora poco numerosi. L'analisi dei siti denota sovente delle realizzazioni molto approssimative;
- spesso non esistono analisi e studi preliminari e tanto meno progetti ben concepiti e documentati: le tecniche d'IN sono spesso applicate in modo "approssimativo", sulla base di schemi presi qua e là nella letteratura;
- sovente, coloro che concepiscono la sistemazione non hanno delle chiare idee sui bisogni fisiologici delle piante e del loro comportamento nei diversi ambienti e nelle diverse condizioni ecologiche;
- molti interventi si rivelano essere inutili e mal concepiti: in queste realizzazioni sono infatti evidenti chiari segni di incomprendimento dell'ecologia e dei processi idraulici;
- molti di coloro che concepiscono la sistemazione non sanno analizzare le conseguenze di quello che hanno realizzato e di quello che non ha funzionato;
- gli stessi errori sono ripetuti, a volte negli stessi posti;
- la manutenzione dei corsi d'acqua e la loro sistemazione con le tecniche d'IN sono stati spesso utilizzati perlopiù come propaganda politica, in particolare come elemento di reinserimento urbanistico; questi sono stati spesso i punti di partenza di alcuni gravi danni per i corsi d'acqua.

Peraltro, della suddetta interpretazione sulle tecniche di IN si trova conferma anche nella normativa tecnica. L'"Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica forestale" (DPR 14 aprile 1993) sottolinea la particolare attenzione che deve essere posta alla conservazione dei consorzi vegetali e alla rinaturazione delle sponde e degli alvei e raccomanda, ove possibile, la sostituzione di opere impattanti con "tecnologie di ingegneria ambientale". Riporta poi fra le "tipologie di interventi manutentori da effettuarsi", la "sostituzione di elementi di gabbionata metallica deteriorata o instabile od altra difesa artificiale deteriorata o in frana, utilizzando tecnologie di ingegneria ambientale". Ne deriva che le gabbionate - peraltro definite, sia da alcune normative che da operatori del settore, fra quelle di IN, purché rinverdite - non dovrebbero essere comprese fra le tecniche di "ingegneria ambientale" (ovvero naturalistica). In effetti, anche malgrado l'eventuale

rinverdimento, il principio di costruzione e di funzionamento di tali manufatti non rientra nell'ambito dei principi su cui si basano le tecniche di IN. Tale assunto, per similitudine tipologica, si può estendere alle altre opere composte in prevalenza da materiali non biologici, quali scogliere, terre armate, materassi artificiali, strutture in geoteti plastiche, ecc.

4 Problematiche applicative dell'IN in Sardegna

4.1 Introduzione

In generale, malgrado i grandi vantaggi che possono procurare le tecniche d'IN, bisogna essere coscienti che esistono dei chiari limiti alla loro applicazione, principalmente a causa dei seguenti fattori:

- raggio di espletamento delle azioni meccaniche (limiti intrinseci alla tecnologia);
- possibilità e capacità di crescita dei vegetali in determinate condizioni climatiche e pedologiche;
- entità e tipologia delle azioni meccaniche a cui dovrebbero essere sottoposte;
- situazione territoriale e socio-economica del contesto di intervento;
- capacità operativa.

Per quanto riguarda la Sardegna, le condizioni climatiche, territoriali ed ecologiche presenti precludono in gran parte la possibilità di applicare alcune delle tecniche di IN ormai ben affermate nelle regioni continentali italiane ed europee. In queste ultime, infatti, non si hanno prolungati periodi di aridità estiva o di deficit idrico, ma bensì problemi legati al freddo e alla sommersione idrica.

Ovviamente anche le specie vegetali presenti in Sardegna sono differenti rispetto alla generalità dei contesti europei continentali: diminuiscono considerevolmente le latifoglie decidue e si avvantaggiano viceversa le sclerofille, le caducifoglie estive e tante altre specie che mostrano adattamenti alle condizioni di mediterraneità climatica.

A ciò si aggiunge anche la mancanza o la difficoltà nel reperimento di materiali adatti o vantaggiosi (in particolare legnami) e le difficoltà operative (ad es. periodo idoneo, comportamenti litotecnici differenti in funzione delle condizioni di saturazione, situazioni geomorfologiche difficoltose, ecc.).

Non si può quindi ragionare secondo standard, come accade nelle regioni continentali. Ciò riguarda in particolare la vegetazione. Infatti, caratteristica fondamentale dell'IN è "l'ingegnerizzazione" vegetale che si realizza principalmente con l'impiego di talee (perlopiù di salicacee). Nel contesto sardo invece tale ingegnerizzazione si dovrà studiare con l'impiego di specie vegetali autoctone e perlopiù già radicate, ma anche studiando tecnologie che si adattano a tali situazioni.

In pratica, salvo per alcuni aspetti, occorre lavorare con principi applicativi simili a quelli adottati alle alte quote delle aree alpine (scarsa disponibilità di suoli con modesta componente organica,

climi estremi, genotipi locali endemici, utilizzo di specie pioniere, etc.), con scelte mirate al contesto, se non al sito.

Per questi motivi, come si dirà in seguito, se si vuole perseguire diffusione e affidabilità nell'applicazione dell'IN, sarà indispensabile sperimentare adeguatamente, monitorare e quindi tarare le tecniche e definirne poi una classificazione contestualizzata.

4.2 Limiti intrinseci alla tecnologia (campo di applicazione)

Tutte le opere di IN presentano un'efficacia limitata e circoscritta alle dimensioni degli elementi che le caratterizzano. La vegetazione esplica infatti il suo effetto fino pochi metri di profondità nel sottosuolo; anche le strutture di materiale non vegetale (legname, pietrame, ferro) presentano profondità al più dello stesso ordine di grandezza, mentre reti, semine e picchetti sono limitate allo strato superficiale.

Di conseguenza, il primo limite delle opere di IN è la superficialità dell'efficacia nei confronti di sforzi meccanici più profondi (frane, scalzamenti penetranti, movimenti di sistema, ecc), quindi il loro campo di applicazione è circoscritto prima di tutto alla difesa dall'erosione e al consolidamento di frane non profonde.

Tuttavia, grazie appunto al contenimento erosivo e all'effetto drenante e traspirante, l'IN può assumere un ruolo significativo per la mitigazione dei fenomeni che possono determinare l'innescarsi di dissesti anche di maggiori entità.

Infine, si vuole chiarire che le opere di IN non rientrano fra le soluzioni per la diretta riduzione del rischio idraulico alluvionale, ovvero non svolgono di per sé stesse un'azione di contenimento delle piene. Va però considerato il fatto che la loro vasta diffusione nel reticolo idrografico del bacino e sui versanti determina un aumento dei tempi di corrivazione, ovvero una maggior distribuzione e rallentamento delle energie in gioco, e quindi, in sostanza, una riduzione dei colmi di piena. Inoltre, le opere di IN possono svolgere una funzione consolidante anche degli argini in terra preposti per il contenimento delle piene.

4.3 Condizionamenti e limiti all'applicazione dell'IN in Sardegna

4.3.1 Generalità

La buona conoscenza delle caratteristiche ambientali in cui si opera sono quindi condizioni indispensabili alla scelta delle tecniche di IN più idonee, alla loro corretta progettazione e applicazione sul territorio. I seguenti fattori relativi al sito si ritengono particolarmente influenti sulla fattibilità applicativa, ma anche sulla scelta delle tecniche stesse:

- clima
- geologia e idrogeologia
- idrologia-idraulica
- flora e vegetazione
- ecologia
- qualità delle acque.

4.3.2 Geologia, idrogeologia e pedologia

Sul piano geologico, per quanto attiene agli interventi su dissesti geomorfologici di versante, l'elemento più condizionante, come detto più volte, appare quello derivante dalla particolare casistica dei fenomeni franosi, che riferisce ai crolli la stragrande maggioranza delle fenomenologie, che a loro volta conseguono dagli assetti geo-litologici e litotecnici del territorio (Figg. 4.1-4.2). Per quanto riguarda i corsi d'acqua, invece, uno degli elementi più limitanti, oltre l'aridità estiva, appare la natura marcatamente grossolana dei depositi alluvionali attuali che caratterizzano molti corsi d'acqua a carattere torrentizio, in particolare le idrografie orientali drenanti nel Mar Tirreno, la cui mobilitazione, durante gli eventi di piena, può essere di pregiudizio all'efficacia ed alla durata degli interventi di IN realizzati.

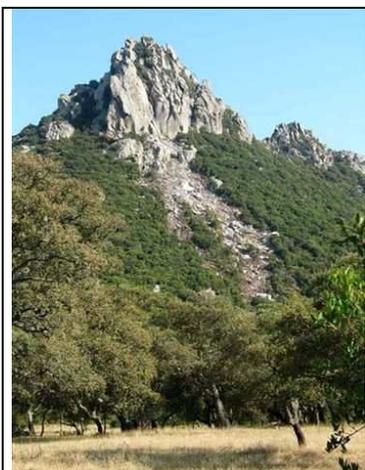


Fig. 4.1 - Frana di crollo in ammassi granitici fratturati (Monte Acuto, Berchidda - OT) – Foto G. Tilocca



Fig. 4.2 - Blocco franato dalla cornice calcarea miocenica in località Corona de Corvus presso Ploaghe (SS) – Foto A. Forci.

C'è da dire inoltre che le condizioni meteo-climatiche non di rado fanno assumere ad alcune terre, ovvero a litologie mutevoli dal punto di vista geotecnico, comportamenti differenziali in funzione del mutevole contenuto d'acqua al variare degli apporti meteorici, questo avviene ad

es. nelle piroclastiti non saldate ed andesiti alterate fra le rocce vulcaniche effusive e graniti arenizzati fra quelle intrusive. Questo comporta che la consistenza dei sedimenti può passare da modesta, in condizioni umide, a molto elevata, in condizioni di aridità prolungata. In fase di progettazione, tali elementi dovranno essere assunti e controllati con la massima attenzione evitando azioni che possono compromettere la buona riuscita dell'intervento, come ad esempio l'impianto di specie vegetali su substrati che, magari temporaneamente, non possono assicurare un adeguato sviluppo. Taluni esempi recenti di sistemazioni idrauliche (Riu San Pietro-Arzachena-OT) con adozione di tecniche naturalistiche con finalità antierosive spondali (biostuoie rinverdite) conseguenti dall'incremento tramite escavi della sezione d'alveo, sebbene tendenzialmente congruenti col contesto fisiografico, non hanno garantito la rinaturazione né hanno potuto impedire effetti erosivi, rivelando le non trascurabili difficoltà realizzative in contesti di per sé difficili (i graniti arenizzati appunto) privi o assai carenti di substrato pedologico.

Per quanto riguarda i limiti di carattere pedologico, molti contesti litologico-morfologici, considerando i tempi lunghi di formazione del suolo, sono da considerarsi ambienti estremamente vulnerabili e nei quali si innescano, con la riduzione o scomparsa della copertura vegetale, processi erosivi che possono determinare anche l'affioramento del substrato roccioso. A ciò consegue una perdita irreversibile dello strato pedogenetico e detritico superficiale, facendo mancare di conseguenza le condizioni basilari di impiego delle tecniche di IN.

La conoscenza delle informazioni contenute negli studi sui suoli della Sardegna e nella cartografia di settore offre comunque una serie di dati utili in fase preliminare sulla pedologia del sito. In fase di progettazione esecutiva è fondamentale comunque effettuare specifici studi pedologici, al fine di scegliere le specie più idonee all'attecchimento e al successivo sviluppo nel substrato di crescita presente nel luogo di intervento. Nella carta dei Suoli della Sardegna alla scala 1:250.000 (Aru et al., 1991) sono state delimitate unità di paesaggio principali differenziate essenzialmente in funzione delle formazioni litologiche prevalenti e sottounità di paesaggio, caratterizzate invece da diverse situazioni altimetriche, morfologiche, di copertura vegetale e di uso del territorio (Classificazioni utilizzate: Soil Taxonomy 1975 e successivi aggiornamenti, Fao-Unesco, Land Capability classification USDA 1961-Klingebiel e Montgomery).

Di seguito si riportano alcune delle unità cartografiche pedologiche derivate dalla succitata carta dei suoli, che possono presentare dei limiti allo sviluppo di una copertura vegetale se non si attuano specifiche tecniche agronomiche e di scelta delle specie da mettere a dimora nelle opere di ingegneria naturalistica. Nell'unità 1 che caratterizza il paesaggio sulle dolomie, le limitazioni d'uso sono rappresentate da rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, forte pericolo di erosione. Nell'unità 3 visibile nelle formazioni quarzitiche, a causa della morfologia e nelle aree a forte pendenza o dove sono stati più intensi i fenomeni di degradazione, le limitazioni d'uso sono rappresentate da rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione. Nell'unità 14 che caratterizza il paesaggio delle andesiti nelle

aree con forme molto tormentate e a forti pendenze prevale la roccia affiorante, i suoli che hanno spessori minimi sono limitati a modeste superfici. I tipi pedologici sono caratterizzati da un'evoluzione molto limitata e le limitazioni d'uso sono rappresentate da tessitura fine, drenaggio lento, a tratti eccesso di carbonati con un moderato pericolo di erosione. L'unità 15 è caratterizzata da suoli di debole spessore e in associazione ad ampi tratti di roccia affiorante. Le limitazioni d'uso sono rappresentate da rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, drenaggio lento, forte pericolo di erosione. L'unità 22 è diffusa su superfici ondulate, sulle sommità i suoli hanno una profondità inferiore ai 50cm con pietrosità e rocciosità elevata e talvolta prevalente rispetto al suolo, gli accumuli di carbonati ed un' elevata saturazione di basi. Le limitazioni d'uso sono quindi rappresentate da rocciosità e pietrosità elevate, eccesso di scheletro e di carbonati, forte pericolo di erosione. L'unità 31 trova una collocazione caratteristica nelle aree depresse e in aree paludose o di stagni. I suoli che la compongono sono poco evoluti a tessitura argillosa con permeabilità debole con segni di idromorfismo almeno nelle porzioni più profonde del suolo. Talvolta possono inoltre contenere un certo quantitativo di sali solubili. Le limitazioni d'uso sono rappresentate da tessitura fine, drenaggio lento, pericolo di inondazione. L'unità 34 tipica delle aree idromorfe e salse è diffusa in prossimità delle lagune, degli stagni e delle foci dei principali corsi d'acqua e lungo le coste. I suoli principali sono caratterizzati dalla presenza di falde superficiali e pertanto il processo genetico più importante è rappresentato dall'accumulo di sali per mancanza di idoneo drenaggio che non ne permette l'eliminazione. Le limitazioni d'uso sono rappresentate da drenaggio lento, salinità elevata, pericolo di inondazione.

4.3.3 *Idrologia e idraulica*

La velocità della corrente, il trasporto solido, il livello idrico, le condizioni geomorfo-idrauliche locali rappresentano fattori con cui le tecniche di IN devono confrontarsi. Oltre un certo sforzo meccanico da esse determinato o in condizioni di sommersione prolungate, le tecniche di IN possono diventare inefficaci.

I limiti applicativi principali che interagiscono con i fattori idrologico-idraulici riguardano essenzialmente: la resistenza all'azione di trascinamento (sforzo tangenziale) esercitata dalla corrente idrica e l'effetto scabrezza-ingombro della sezione di deflusso.

Nel primo caso la prestazione dell'opera di IN dipende dalla tecnica e dalle condizioni applicative, in quanto esse influenzano l'efficienza della tecnica stessa. Le ormai numerose osservazioni su opere realizzate ed esperienze condotte con finalità scientifiche su interventi pilota, offrono dati rappresentativi degli sforzi massimi sopportabili da ciascuna tecnica di protezione spondale. Tali dati, oltre all'osservazione pratica, dimostrano come opere scelte (contesti applicativi adatti) e realizzate adeguatamente possano sopportare anche elevate azioni della corrente, anche ben superiori a quelle normalmente sopportabili da molte delle tecniche di ingegneria civile. Pertanto, contrariamente a quanto viene sovente ritenuto, non è vero che l'IN va presa in considerazione

solo in casi di modeste azioni idrico-energetiche in gioco e di scarso rischio (piccoli corsi d'acqua e assenza di beni importanti). Infatti molti successi sono stati ottenuti, a livello internazionale, in grandi corsi d'acqua e in tratti prossimi ad insediamenti in condizioni anche difficili.

Per quanto riguarda l'ingombro e la scabrezza offerti dalla vegetazione, ciò può costituire un limite però valutabile a priori e controllabile tramite un piano di manutenzione anch'esso programmabile. Ovviamente, in sezioni già insufficienti o al limite della funzionalità idraulica, può rivelarsi inaccettabile anche un lieve incremento del livello e quindi improponibile un intervento che riduca la velocità idrica.

Per un approfondimento di tali fattori e per i dati disponibili sulla resistenza al trascinarsi delle opere di difesa spondale si vedano in particolare Florineth (2007) e Preti & Bacci (2004).

Problema opposto è quello relativo alle condizioni idriche in caso non di piena, in quanto livelli troppo bassi o troppo elevati dell'acqua possono determinare danni allo sviluppo e alla crescita della vegetazione (aridità, sommersione). Per esempio, vi possono essere situazioni particolari legate a cause antropiche limitanti, quali escursioni artificiali del livello idrico, come si verificano a valle di centrali idroelettriche, o drastici abbassamenti della falda o delle portate dei corsi d'acqua a causa delle irrigazioni estive.

4.3.4 Qualità delle acque

Un ulteriore fattore limitante può essere rappresentato da condizioni di cattiva qualità delle acque, ovvero nei casi di forte presenza di agenti inquinanti inibenti lo sviluppo della vegetazione che si dovrebbe inserire. Si riscontrano rischi di danno o di inibizione anche totale nel caso di acque tendenzialmente anossiche o caratterizzate da elevate concentrazioni di agenti tossici (tensioattivi, olii, idrocarburi, ecc.).



Una scarsa qualità dell'acqua può essere anche di ostacolo alla cantierizzazione per motivi di sicurezza (rischio sanitario), poiché molte delle opere di IN richiedono una costruzione manuale in situ e quindi un diretto contatto fra operatori e ambiente idrico.

Anche l'elevata salinità (zone saline e salmastre) può rappresentare un fattore limitante per lo sviluppo della vegetazione, fino ad impedirlo del tutto. Si pensi in particolare alle aree umide costiere, ai tratti terminali dei corsi d'acqua, alle dune sabbiose e alle falesie.

4.3.5 *Condizioni climatiche*

Nella realizzazione di interventi di IN è di fondamentale importanza il rispetto dei tempi di esecuzione. Per gli interventi in alveo il periodo di esecuzione è vincolato al regime idrologico del corso d'acqua, in particolare ai periodi in cui si riscontrano portate non elevate, tali da consentire la possibilità di eseguire il cantiere senza onerosi interventi di deviazione della corrente e tali da limitare il rischio di interessamento del cantiere da parte delle piene.

Per garantire l'attecchimento, inoltre, con l'inserimento di materiali vegetali vivi, il periodo di intervento deve corrispondere al periodo di riposo vegetativo. La fase ottimale per i cantieri si situa quindi tra la stagione autunnale, che però, a seconda delle località, può anche coincidere con periodi ad elevata piovosità, a quella invernale. Una situazione ideale è quella in cui la preparazione del sito avviene tra la primavera e l'estate per poi eseguire in autunno l'impianto delle essenze vegetali.

4.3.6 *Sviluppo dei vegetali*

Regime pluviometrico e disponibilità idrica, temperatura, luce e loro distribuzione stagionale sono fattori rilevanti agli effetti della possibilità dell'impiego di differenti specie vegetali, che talvolta condizionano le scelte di applicazione delle tecniche di IN.

In particolare, nel territorio sardo, un fattore limitante è costituito dall'aridità che caratterizza il contesto climatico bistagionale, che spesso si prolunga oltre il periodo estivo e nelle aree più meridionali interessa anche parte della primavera.

Occorre far fronte a tale deficit idrico tramite un'adeguata scelta delle tecniche e considerando con la dovuta attenzione sia gli aspetti relativi alla selezione delle specie più idonee ad ogni situazione ambientale, sia le loro esigenze ecologiche e i ritmi fenologici.

Nelle aree a clima mediterraneo le specie erbacee e molte specie arbustive o arboree tendono ad affrontare il periodo di aridità estivo andando in riposo vegetativo. In questo modo le erbe annuali (terofite) completano il loro ciclo affidando ai semi la possibilità di una successiva generazione. Le erbe perenni (emicriptofite e geofite), così come molte specie legnose di piccola taglia (camefite e nanofanerofite), disseccano invece i tessuti fotosintetizzanti, con conseguente morte dell'interna parte epigea per le prime e perdita delle foglie per le seconde (caducifoglie

estive). Per tale ragione, sui terreni non occupati da vegetazione forestale, le piogge tardo-estive e autunnali, che si verificano spesso con notevole intensità e risultano concentrate in termini temporali, agiscono con la loro azione battente e dilavante proprio nel periodo in cui queste superfici si presentano meno protette dal manto vegetale.

Le tradizionali tecniche dell'IN per la sistemazione dei versanti si sono sviluppate e perfezionate in ambiti climatici ben differenti, dove l'estate è la stagione di maggior sviluppo della vegetazione e durante i periodi piovosi è presente, sui versanti privi di formazioni forestali, un'adeguata copertura erbacea. Per queste ragioni, in ambito mediterraneo, gli interventi sui versanti soggetti ad erosione e/o a rischio di dissesto devono essere attuati con un differente approccio rispetto alle tecniche classiche cercando di sopperire all'assenza o alla limitata copertura erbacea durante la prima parte del periodo autunnale.

In quest'ultimo ventennio si sono visti realizzare in Sardegna numerosi interventi di ripristino ambientale e di riassetto idrogeologico attuati talvolta anche con tecniche di IN o integrate. I risultati spesso insoddisfacenti di tali interventi sono in molti casi da ricondurre proprio alla scelta erranea delle tecniche (es. idrosemina, talee legnose) o delle specie vegetali, per lo più appartenenti ad unità tassonomiche non autoctone (es. *Festuca ovina*, *Poa infirma*) e, nella quasi totalità, riferibili a piante annuali. In alcuni casi si è potuto osservare come i supporti antierosivi biodegradabili (per lo più biostuoie) abbiano perso la loro funzione di contenimento nel giro di due o tre anni senza che lo sviluppo di un'adeguata copertura erbacea subentrasse nel frattempo a stabilizzare le superfici. Il ruolo delle piante annuali dovrebbe essere fortemente ridimensionato negli interventi di IN in Sardegna; solo in limitati casi, infatti, esse possono svolgere un ruolo di sostegno allo sviluppo della copertura vegetale e generalmente non offrono un valido contributo alla stabilizzazione delle situazioni più a rischio.

Per quanto riguarda gli habitat ripariali, appare ancora una volta necessaria l'adozione di soluzioni specifiche per le peculiarità dei fiumi della Sardegna, caratterizzati da regimi e portate discontinue tipiche dei climi mediterranei, dove i corsi d'acqua sono prevalentemente a regime torrentizio. In queste situazioni l'impianto di talee di salici o altre specie caducifoglie, particolarmente diffuso in aree sottoposte a climi temperati, non può essere generalizzato a tutti i ripristini dei corsi d'acqua, che molto spesso possono disseccarsi del tutto per prolungati periodi dell'anno.

4.3.7 Biotecnica

Le tecniche di IN risultano poco efficaci nel consolidamento di corpi franosi profondi. Spesso, in effetti, lo spessore dello strato di suolo consolidato o protetto è limitato, a breve termine, dalla profondità raggiungibile con i materiali morti e, a medio termine, dalla profondità colonizzabile dagli apparati radicali. Diversi studi (Polomski & Kuhn, 1998) hanno mostrato che lo sviluppo radicale maggiore in profondità delle specie che naturalmente fanno parte della ripisilva è quello dell'ontano nero (*Alnus glutinosa*), con 3,80 m.

Tuttavia questa specie, come molte delle specie normalmente utilizzate in forma di talea, trova un'applicazione estremamente limitata nel territorio sardo, che si riduce alle sponde dei fiumi a regime costante su substrati di natura non carbonatica.

4.3.8 *Impatto ambientale e tutela degli habitat*

Odum (1983) definì l'habitat di un organismo come *"il posto in cui esso vive, o il posto dove lo si può trovare"*. Tale definizione, apparentemente molto semplice, include in realtà differenti sfumature di significato, in quanto in alcuni casi può essere *"costituito dall'insieme delle caratteristiche fisiche o abiotiche"* (es. l'habitat di una comunità erbacea psammofila), mentre in altri casi *"include sia le componenti viventi che non viventi"* (es. l'habitat degli emetteri acquatici).

Tale flessibilità di significato ha comportato un uso ampio del termine, fino ad utilizzarlo poco ortodosso come sinonimo di ecosistema (es. l'habitat dello stagno o del bosco).

La Direttiva 92/43 CEE, denominata appunto "Habitat", fornisce la seguente definizione di habitat naturali: *"zone terrestri o acquatiche che si distinguono grazie alle loro caratteristiche geografiche, abiotiche e biotiche, interamente naturali o seminaturali"*. Seppure tale descrizione faccia pensare agli habitat come "luoghi", in realtà la Direttiva identifica le categorie di interesse comunitario come tipologie o sommatoria di tipologie vegetazionali.

Le opere di IN sono caratterizzate, rispetto alle tecniche tradizionali grigie o miste, da un approccio che non prevede l'inserimento nel territorio di una struttura estranea al contesto ambientale. Esse sono invece orientate a ricreare situazioni le più possibili simili a quelle naturali e che tendono nel tempo ad integrarsi completamente negli ecosistemi e habitat che le ospitano. Per tale ragione, se correttamente eseguite, esse presentano un impatto ambientale minore rispetto alle opere tradizionali. Tuttavia la loro realizzazione può essere comunque fonte di disturbo e di perdita di naturalità, soprattutto quando si opera in aree caratterizzate da notevole complessità ecosistemica e fragilità ambientale.

In primo luogo va considerato il disturbo alla fauna prodotto durante le fasi di cantiere, soprattutto se si opera in aree importanti per la nidificazione degli uccelli o per la riproduzione di altri animali quali anfibi e pesci d'acqua dolce. Le indagini preliminari sulla componente faunistica sono di fondamentale importanza in tali contesti e devono permettere di individuare i periodi dell'anno in cui è possibile realizzare gli interventi senza arrecare disturbo. Altro rischio da valutare nel caso dei contesti fluviali, e delle zone umide più in genere, è se il movimento di mezzi meccanici negli alvei asciutti o nei terreni umidi possa essere fonte di danneggiamento per uova, larve o individui in fase di latenza presenti nel suolo, siano essi vertebrati o invertebrati.

Per quanto riguarda invece la perdita di naturalità, questa potrebbe verificarsi qualora ragioni di efficienza meccanica e di stabilità strutturale richiedano l'utilizzo di un numero di specie vegetali molto ridotto. La nuova opera, seppure più sicura dal punto di vista del rischio di dissesto rispetto alla situazione iniziale, potrebbe comunque causare una certa artificializzazione dell'ambiente interessato e una perdita di biodiversità. Tali conseguenze negative si potrebbero verificare nonostante le specie utilizzate risultino ecologicamente compatibili con il contesto in cui vengono inserite. Un caso particolare, ma comunque da valutare come possibilità, è rappresentato da fronti scoscesi o pareti rocciose che ospitano una peculiare biodiversità vegetale, con un'elevata percentuale di specie e comunità endemiche. In questi casi, se si presentasse l'esigenza di una messa in sicurezza, questa si dovrebbe attuare cercando di conservare la superficie più ampia possibile degli habitat casmofitici e casmocomofitici presenti.

Per le suddette ragioni occorre sempre verificare a priori la compatibilità degli interventi nei confronti del mantenimento dell'habitat e delle specie animali e vegetali che lo caratterizzano. La presenza di ambienti naturali di pregio può di fatto costituire un limite applicativo di tali tecniche e pertanto, nelle situazioni di maggiore sensibilità, deve essere sempre valutata l'opzione del non intervento.

4.4 Limiti di mercato

4.4.1 Premessa

La possibilità applicativa delle tecniche di IN dipende molto anche da fattori legati alle risorse disponibili sul mercato, sia a livello dei materiali che delle professionalità, ovvero dalle loro disponibilità e costi.

Tendenzialmente quindi una fase di avvio e sperimentazione di nuove tecniche sarà caratterizzata da maggiori complessità rispetto alla situazione che caratterizza il settore dell'ingegneria tradizionale. Nelle linee guida saranno analizzate tali problematiche proponendo approcci valutativi e soluzioni per affrontarle che consisteranno: a) nella valutazione della disponibilità e tipologia di materiali accessibili al mercato regionale e della loro idoneità; b) nello studio di azioni per la crescita professionale, in campo sia tecnico (progettisti, funzionari degli enti) che operativo (ditte, con particolare riferimento a quelle che operano in campo idraulico, forestale e vivaistico).

4.4.2 Approvvigionamento dei vegetali vivi

Un fattore che può essere anche fortemente limitante per l'applicazione delle opere d'IN è l'approvvigionamento del materiale utilizzato negli interventi. L'utilizzo di tali tecniche presuppone la disponibilità di materiale (vivo o morto) non sempre facilmente reperibile sui mercati locali o in

natura (Fig. 4.3). Tra i materiali “fuori mercato” rientrano la ramaglia sia viva che morta e le talee, in genere di specie dotate di vigoria vegetativa e di capacità di emissione di radicazione avventizia (es. salici, pioppi, tamerici, oleandri, etc.). Si tratta peraltro di materiali che nel territorio sardo non risultano di ampia applicazione, ma possono essere utilizzati esclusivamente in territori caratterizzati da un clima sub-mediterraneo o in ambito fluviale.

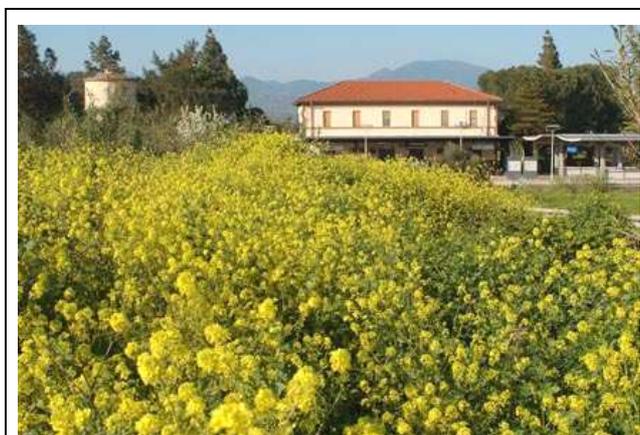


Fig. 4.3 - Fioritura di *Sinapis alba* presso la stazione di Musei –
Foto M. Casti

Alla carenza in zona di tali materiali non è sempre facile far fronte, poiché il costo dei trasporti incide talvolta in modo sproporzionato sul costo del materiale. Inoltre, uno dei principi fondamentali dell'IN è quello di utilizzare materiale vegetale di provenienza locale certificata, prossimo al sito di cantiere e comunque reperito in stazioni fitoclimaticamente uguali a quella di progetto. Questo vale sia per le specie arbustive e arboree che per le specie erbacee. L'impiego di vegetali provenienti dagli stessi ambiti biogeografici in cui ricadono i siti di intervento, oltre a fornire migliori garanzie sulla riuscita dei lavori, mette al riparo da inquinamenti genetici. Questi possono comportare il rischio di introdurre piante scarsamente idonee al contesto ecologico, le quali, anche in seguito ad ibridazioni con gli esemplari indigeni, possono rendere la popolazione meno resistente alle condizioni avverse. In altri casi i genotipi alloctoni possono invece dimostrarsi particolarmente adattabili alle nuove condizioni, soppiantando così gli individui locali e causando una perdita in termini di biodiversità.

I limiti che riguardano l'approvvigionamento del materiale vegetale per le opere di IN e per qualsiasi altro intervento di riqualificazione in ambienti naturali, si possono riassumere in:

- limitata produzione di specie autoctone (arboree, arbustive, erbacee) da parte dei vivai locali;
- assenza di produzione di sementi certificate di specie autoctone da parte di ditte sementiere;

- mancanza di norme che impongano l'utilizzo di materiale certificato che indichi la provenienza del materiale di propagazione e preveda quindi tempi sufficienti per produzioni specifiche;
- scarsa formazione delle ditte nell'eseguire i lavori e nel prelevare i materiali.

I vivai dell'Ente Foreste della Sardegna producono grandi quantità di un limitato numero di specie autoctone, in prevalenza allevate in fitocella; per queste piante è anche possibile risalire generalmente alla provenienza del materiale di propagazione. Da pochi anni comunque alcuni vivai privati, localizzati prevalentemente nel sud dell'isola, producono diverse specie autoctone, ma in quantità limitate in quanto non vi è una grande richiesta di questi materiali vegetali. In questi casi si prediligono le specie di facile propagazione e più conosciute dagli utenti e quindi maggiormente vendibili. Di solito i vivaisti prelevano il materiale di propagazione da più siti o da piante madri presenti in vivaio, ma nei cartellini non viene mai specificata la provenienza del materiale di propagazione. Inoltre, l'assenza di una filiera di certificazione, svincola da qualsiasi controllo il prelievo in campo di rami per talee, frutti e plantule da rinvasare, che può essere talvolta effettuato in modo distruttivo da raccoglitori improvvisati. Generalmente le produzioni locali sono costituite da specie arbustive ed arboree autoctone allevate in vaso di piccole dimensioni con diametro compreso tra 12 e 22 cm o fitocelle.

Il problema di approvvigionamento si riscontra anche per la disponibilità di sementi specifiche: quelle che si possono acquistare provengono da ditte sementiere non sarde, che producono pertanto sementi con specie non autoctone o non compatibili geneticamente. Non è quindi possibile utilizzare quelle specie che compongono la copertura vegetale erbacea nei nostri pascoli o nelle scarpate, anche che si adattano a condizioni estreme di siccità ed elevate temperature. La Facoltà di Agraria di Sassari ha condotto degli studi sul miglioramento dei pascoli attraverso l'analisi delle specie erbacee presenti in alcuni di questi ed allestendo anche dei campi catalogo, ma la produzione di sementi è limitata e, inoltre, avendo come obiettivo il miglioramento dei pascoli, la selezione delle specie ha interessato solo alcune specie pabulari.

In ALLEGATO 1 si riporta una sintesi delle ricerche recentemente effettuate presso il CNR di Sassari, sulla selezione e propagazione di specie erbacee autoctone.

Considerando l'importanza di dover utilizzare nelle opere materiale vegetale prodotto in Sardegna, al fine di garantire una migliore adattabilità delle piante alle nuove condizioni d'impianto, è importante inserire norme nei capitolati che prevedano l'impiego esclusivo di questo materiale tracciato.

Attualmente i vivaisti sardi valutano scarsamente redditizia la produzione di sementi autoctone, proprio perché l'assenza di una normativa che vincoli al loro utilizzo fa preferire, a chi realizza opere di rivegetazione, l'impiego di materiale proveniente da altre regioni, che può essere prodotto e acquistato a costi molto inferiori. Fino a che non si sarà approvata una norma in tal

senso la produzione di sementi a partire da genotipi sardi sarà pertanto antieconomica, fatto che presenta anche un risvolto negativo per l'economia sarda, togliendo una possibilità di espansione al settore vivaistico.

4.4.3 *Approvvigionamento dei materiali morti*

Discorso simile vale per i materiali morti, sebbene in questo caso un approvvigionamento esterno al sito può comportare maggiori costi e maggiori impatti energetici, ma non i rischi di inadeguatezza biologica come nel caso dei vegetali.

I materiali morti, in particolare legnami (tronchi), stuoie o reti di juta, biostuoie, mulch di legno, pasta di cellulosa vergine o riciclata e prodotti impiegati nelle miscele da idrosemina, non vengono prodotti in Sardegna ma arrivano nell'isola attraverso ditte continentali. Si trovano invece facilmente, in quanto prodotte in Sardegna, le canne di diverse dimensioni, con la possibilità di avere legaggi diversi ma, considerando le produzioni e i tempi di raccolta e preparazione, è necessario ordinarle con largo anticipo, soprattutto se si tratta di quantitativi consistenti. Sono anche reperibili nell'isola i concimi organici (letame) e il pietrame.

4.4.4 *Disponibilità di mano d'opera specializzata*

La carenza di mano d'opera specializzata nella costruzione di opere d'IN è spesso un limite alla loro applicazione e, soprattutto, alla loro buona riuscita. Non si dimentichi che il miglior progetto concepito e disegnato su carta può essere inficiato se non è poi interpretato correttamente e realizzato *a regola d'arte*. Per non incorrere in problemi di questo tipo è quindi necessario che i criteri di aggiudicazione dei lavori da appaltare siano basati, piuttosto che sulla offerta di ribasso economico, sulla capacità provata delle imprese di realizzare con competenza le opere richieste.

In Sardegna sono poche le imprese che hanno esperienza in lavori specifici di IN (attualmente sono infatti limitati i lavori, compresi nella categoria, effettivamente realizzati).

Le difficoltà maggiori vengono incontrate dalle maestranze nell'esecuzione delle strutture realizzate con i materiali inerti, che implicano, il più delle volte, il ricorso al lavoro manuale, mentre esiste una buona competenza ed esperienza degli operatori nell'esecuzione della messa a dimora dei materiali vegetali e negli interventi compresi nelle cure culturali durante le fasi di manutenzione dell'opera.

4.4.5 *Disponibilità di tecnici esperti*

Pur non essendoci ancora un'esperienza consolidata di progettazione e applicazione delle opere di IN, che sia diffusa sistematicamente a livello regionale nei diversi campi di intervento, sono comunque presenti numerose professionalità aventi conoscenze specifiche in materia botanica,

geologica, naturalistica, ingegneristico-ambientale e paesaggistica, che esprimono un ottimo potenziale tecnico-scientifico.

Tuttavia, non essendoci ancora una esperienza significativa di progettazione e applicazione delle opere di IN, sussiste una carenza di tecnici capaci in grado di affrontare e risolvere le problematiche legate alla progettazione ed esecuzione di queste tipologie di interventi e a dirigere le imprese realizzatrici con la qualità e l'affidabilità che esse richiedono.

Sono invece presenti numerosi professionisti, funzionari pubblici e ricercatori che si sono occupati, nelle varie discipline, dell'analisi e dello studio del territorio e dell'ambiente sardo, il cui ruolo sarà fondamentale per il supporto alla progettazione. Loro stessi sono ovviamente i primi candidati ad una crescita di competenze anche in quest'ultima attività.

4.5 Limiti socio-economico-culturali

4.5.1 Antropizzazione e uso del suolo

Nelle zone a denso sviluppo urbano l'applicazione delle tecniche d'IN risulta sovente limitata. Il principale fattore limitante è senza dubbio la mancanza di spazio e l'impossibilità di allargamento degli alvei fluviali. Infatti, quando i corsi d'acqua presentano ingenti edificazioni lungo le fasce riparie, normalmente non c'è lo spazio per ospitare opere che comportino la riduzione delle velocità della corrente idrica o l'ampliamento della sezione idraulica (le scarpate sistemate con tecniche di IN possono risultare infatti meno ripide e, nel medio periodo, caratterizzate da maggior scabrezza e dall'ingombro da parte della vegetazione).

Tuttavia, laddove vi è un minimo di margine di manovra, possono essere applicate delle tecniche aventi lo scopo di apportare un miglioramento biologico e paesaggistico del corso d'acqua, con l'introduzione di elementi strutturanti l'alveo e le sponde. In questo caso, l'IN non ha più lo scopo di consolidare le sponde bensì di migliorare la qualità ambientale ed estetica e fruitiva del corso d'acqua.

Inoltre l'uso del suolo (agricolo, zootecnico, ecc.) rappresenta un interesse che può confliggere con operazioni che ne prevedano una limitazione spaziale o tipologica.

Infine, anche le infrastrutture possono determinare vincoli spaziali e artificializzazioni spinte del suolo, molte volte non conciliabili con la presenza di terreno e di vegetazione, oppure richiedenti opere strutturali massicce.

4.5.2 Fattori giuridico-amministrativi

Un elemento limitante e contraddittorio è presente sul piano legislativo tecnico e amministrativo. In particolare, si verificano diversi contrasti fra alcune norme idrauliche, che vietano o limitano

l'introduzione di vegetazione presso alvei e arginature, e leggi o atti di indirizzo più recenti (si rimanda a tal proposito al Par.2.4.1).

Riguardo alle difficoltà di carattere amministrativo è da segnalare la frequente incompatibilità tra i tempi di espletamento delle procedure amministrative e finanziarie e il rispetto della stagionalità per l'impianto delle diverse specie vegetali.

Il rispetto dei tempi ottimali per l'esecuzione dei lavori risulta spesso un fattore limitante all'applicabilità delle tecniche di IN, soprattutto perché frequentemente le esigenze di natura amministrativa (scadenze per spendere o rendicontare finanziamenti) contrastano (temporalmente sfasate) con quelle di natura tecnica (periodo utile per il reperimento e la messa a dimora del materiale vegetale vivo o delle semine).

Si riscontra inoltre la mancanza di direttive tecniche specifiche e strutturate tali da fornire indicazioni esaustive per la progettazione e l'esecuzione degli interventi di IN. Poiché i capitolati e i disciplinari di gara risultano spesso deficitari e generici, molte delle scelte relative alla esecuzione delle opere sono quindi demandate ai tecnici incaricati della loro messa in opera, rischiando così di comprometterne la corretta realizzazione.

Spesso poi, la progettazione e l'esecuzione delle opere non sono accompagnate da un sistematico piano di monitoraggio e manutenzione, di fondamentale importanza per assicurare la loro efficacia nel tempo. Ciò è legato non solo a carenze normative ma anche alla mancanza di finanziamenti strutturali che permettano di pianificare gli interventi con un orizzonte temporale lungo, di concepire le opere con la dovuta attenzione e di garantire la loro durata ed efficienza nel tempo.

In Sardegna mancano inoltre norme specifiche, prescrittive e cogenti, che chiariscano in maniera efficace in quali casi, con quali modalità e in quali contesti debbano preferibilmente od obbligatoriamente essere utilizzate le tecniche dell'IN. Le Direttive e le linee guida esistenti risultano infatti spesso superficiali e in taluni casi contraddittorie.

4.5.3 *Fattori culturali*

L'IN presuppone una visione olistica del sistema, una propensione alla collaborazione interdisciplinare, una maggiore fiducia nella natura, una sensibilità e un interesse alla qualità ambientale e del paesaggio. Tali caratteristiche oggi sono solo in parte state assimilate dalle professioni, dalla politica e dai cittadini. Pertanto la non conoscenza, il disinteresse e la non fiducia nella natura e nelle tecniche naturali rappresenta senz'altro un importante fattore frenante.

La Sardegna in particolare, pur essendo caratterizzata da una tradizionale cultura agro-pastorale, notoriamente accompagnata da una grande attenzione per la cura e tutela del territorio, è stata interessata negli ultimi decenni dal progressivo abbandono degli elementi storici del paesaggio che hanno sempre svolto un'importante funzione di regimazione dei deflussi superficiali e di

prevenzione e contenimento dei fenomeni erosivi e di dissesto del suolo. La crescita dell'urbanizzazione, specie in prossimità dei grandi corsi d'acqua, ha inoltre portato al progressivo ricorso alle tecniche dell'ingegneria tradizionale per interventi di regimazione idraulica spesso incoerenti con i naturali processi evolutivi dei corsi d'acqua e incompatibili dal punto di vista ecologico e paesaggistico.

La carenza della radicazione di una cultura che accolga l'approccio dell'IN alla pari dei tradizionali metodi e principi, comporta quindi di fatto una forte riduzione delle possibilità operative, ancor più rispetto a molti dei limiti tecnici sopra menzionati.

Negli ultimi anni le politiche e le strategie della Regione Sardegna sono però state fortemente indirizzate verso i principi della conservazione, riqualificazione e valorizzazione dei beni ambientali e del paesaggio, richiamando la necessità di una crescita intellettuale, scientifica e culturale nel campo della progettazione territoriale e ambientale. Ciò, oltre a produrre un generale innalzamento della consapevolezza del valore dei beni ambientali e del paesaggio, ha anche rappresentato un forte stimolo per il mondo accademico e professionale verso lo sviluppo di tecniche e metodi nuovi, compatibili con l'ambiente e il paesaggio, aprendo così la strada verso un potenziale sviluppo e riconoscimento delle tecniche di IN nel contesto regionale.

4.5.4 Mercato e opere pubbliche

Le categorie professionali e dell'imprenditoria dedicate all'ingegneria civile rappresentano un "peso" importante nel mercato. Ciò costituisce quindi un'ulteriore barriera all'ingresso nel mercato stesso da parte di operatori diversi che sostituirebbero una fetta del *plafond* degli incarichi e degli appalti. Una parziale via d'uscita deriva dalla crescita culturale e dall'allargamento a queste nuove tipologie di lavori da parte degli operatori che finora si sono occupati delle opere tradizionali, ma è importante soprattutto che, da parte del legislatore (a scala nazionale e regionale) si introducano obblighi, regole e incentivi a favore del nuovo modo di operare. In particolare, risulta necessario individuare degli strumenti legislativi adeguati per tutelare e valorizzare la professionalità delle ditte specializzate nella realizzazione degli interventi di IN, ad esempio privilegiando nella attribuzione delle qualificazioni SOA principi di carattere qualitativo piuttosto che quantitativo, quali il contenuto di know-how degli interventi realizzati invece che il loro numero.

Si tenga peraltro conto che le opere di IN rispetto a quelle similari tradizionali, oltre ai noti vantaggi che le caratterizzano, normalmente costano meno alla società e offrono marcati vantaggi sul piano occupazionale a parità di investimento.

5 Applicabilità dell'IN nei contesti territoriali regionali

5.1 Opere significative con impiego di materiali naturali realizzate In Sardegna

In questi ultimi anni anche in Sardegna sono stati realizzati alcuni primi interventi che prevedono l'impiego di vegetazione e/o di materiali naturali. Dall'indagine effettuata dagli scriventi e dall'analisi della documentazione esistente, si può constatare che, nella gran parte dei casi, non si tratta di vere opere di IN, bensì perlopiù di limitate applicazioni all'interno di opere del tutto tradizionali, indipendentemente dalla denominazione dell'intervento. Peraltro, il pur modesto impiego di vegetali raramente ha determinato un effetto migliorativo, neppure sotto il profilo estetico, poiché la vegetazione non era in condizioni di potersi sviluppare per errata posa in opera o per condizioni fortemente inibenti.

Tuttavia, in qualche progetto di carattere sperimentale, gli interventi hanno realizzato obiettivi di verifica dell'applicabilità delle tecniche vegetali, nei limitati contesti ove sono stati realizzati, e hanno anche perseguito un certo risultato in termini biotecnici e paesaggistici (p.e. nel caso delle discariche minerarie).

Un elenco esaustivo delle opere realizzate classificabili o denominate di IN non è possibile, in quanto non ne esiste un censimento né un protocollo individuabile, essendo molte di esse amministrate da enti locali o da diversi soggetti. D'altra parte un elenco sistematico, considerando quanto sopra affermato, non si ritiene utile ai fini del presente studio.

In genere quindi, nell'attuazione di interventi di difesa del suolo in Sardegna, il ricorso ad elementi e tecniche riferibili almeno in generale all'IN, è stato fino ad oggi molto limitato e talvolta non opportunamente calibrato rispetto alle effettive esigenze di intervento dei siti. Ferma restando la necessità di mantenere all'interno del corretto ambito di potenziale applicazione l'utilizzo di tali tecniche, non c'è dubbio che la loro adozione, all'interno del campo degli interventi di difesa del suolo, potrà avere un discreto margine d'incremento quali-quantitativo a seguito dell'emanazione di Linee Guida. E' auspicabile, in particolar modo, che le informazioni contenute nel presente documento aiutino ad effettuare una corretta discriminazione tra le opere realmente eseguite secondo i principi dell'IN e quelle che, pur impiegando materiali e metodi di propagazione dei vegetali, non li rispettano dal punto di vista tecnico-funzionale e ambientale.

D'altra parte la realizzazione di interventi di difesa del suolo non tradizionali, realizzati con l'impiego di materiali naturali "morti" come pietrame e legname, è conosciuto già da molti anni in Sardegna, essendo ancora visibili sul terreno vecchi interventi di sistemazione dei versanti (ad

esempio nell'area di Monte Arcosu) che a distanza di molti anni testimoniano egregiamente la loro efficacia.

Alcuni tentativi di utilizzo di tecniche di intervento non tradizionali, ma ancora lontani dall'attuale concetto di IN, furono effettuati già nel corso degli anni '90, facendo ricorso all'impiego di terre rinforzate, materassi spondali, palificate e rulli spondali nella Laguna di Nora. Esempi di terre rinforzate sono state adottate, nel corso dei primi anni dell'attuale decennio, in alcune esperienze di consolidamento di trincee (c/o Calabona, sulla S.P. Alghero-Bosa), di tratti sottoscarpa (tornanti Strada Lodè-Torpè-Nu), di falesie (Farrizza-Porto Torres-SS) e sponde fluviali (Riu Silis, Sennori-SS). Tuttavia la tecnica più frequentemente adottata negli ultimi anni è quella che riguarda l'impiego di gabbionate in pietrame nel consolidamento e nell'innalzamento delle sponde fluviali.

Premesso che queste tecniche non possono essere considerate tra quelle propriamente ricadenti all'interno del campo della IN, in funzione dei criteri di classificazione descritti all'interno dell'apposito capitolo delle presenti Linee Guida, a giudicare dall'incremento che tale impiego hanno avuto, ovvero dal successo riscontrato nelle scelte progettuali, è ben chiaro che esse stanno sostanzialmente sostituendo, anche in funzione della praticità dimostrata da un punto di vista operativo, l'estensivo utilizzo dei manufatti cementizi, che venivano costantemente utilizzati sino a pochi anni or sono. Occorrerebbe quindi capire tutte le ragioni di tale successo, ma anche porsi la domanda di quali siano le condizioni più appropriate per l'utilizzo di queste tecniche, sia sotto il punto di vista idraulico, che geomorfologico e naturalistico. Ciò considerando che l'applicazione di qualunque strategia progettuale e tecnica non può essere assunta come una facile soluzione generalizzata per qualunque situazione pratica di intervento, risultando viceversa la scelta dell'opzione progettuale da adottare sempre da definirsi, caso per caso, facendo riferimento al più ampio insieme di possibilità offerte dall'attuale avanzamento scientifico e tecnologico. Questo è tanto più vero se si considera che i numerosi sopralluoghi effettuati nell'ambito della stesura delle presenti Linee Guida hanno permesso di prendere visione di molti interventi di sistemazione fluviale nei quali le piante sono state usate con esclusiva funzione di mitigazione visiva, allo scopo di occultare, almeno parzialmente, gli interventi strutturali in alveo, nei quali la funzione di contenimento del corso d'acqua è stata affidata esclusivamente ai materiali non viventi (gabbioni in prevalenza).

Va ancora aggiunto che, oltre ad un'impropria attribuzione di tali interventi alle tecniche di IN, nella maggior parte dei casi, malgrado la scelta di specie autoctone dei corsi d'acqua della Sardegna, errori nelle tecniche di propagazione e/o di impianto hanno portato ad un'elevatissima percentuale di fallanze e/o al totale insuccesso dell'opera di rinverdimento.

Un simile approccio è stato adottato anche in molti interventi finalizzati alla stabilità dei versanti e dei fronti di scavo. Un loro esame conduce inevitabilmente alla conclusione che molti interventi (o tentativi di interventi) di IN non sembrano possedere i requisiti tecnici minimi per mancanza dei presupposti tecnici di applicazione (soprattutto per substrati non idonei), ma spesso l'IN finisce per

svolgere un ruolo meramente estetico e non strutturale, contravvenendo cioè allo scopo principale del suo utilizzo.

A parte questi limiti dovuti probabilmente ad una non adeguata conoscenza tecnica delle modalità di applicazioni dei metodi di IN da parte di stazioni appaltanti, tecnici e imprese, l'utilizzo di tali tecniche sembra sinora incontrare le maggiori applicazioni nella protezione dell'erosione delle trincee stradali, soprattutto lungo le strade statali, in relazione probabilmente all'utilizzo di standard progettuali e realizzativi ormai applicati da tempo in tutto il territorio nazionale. Anche in questi casi, tuttavia, sono stati molto frequenti gli insuccessi, specie per quanto attiene l'affermazione della copertura vegetale. Nel realizzare tali opere, infatti, sono stati spesso seguiti i suddetti standard procedurali, osservandoli in modo pedissequo anche in riferimento alle sementi da utilizzare per semine a spaglio o idrosemine e non adattando invece la selezione delle specie da impiegare in funzione del contesto territoriale. In numerosi casi la copertura erbacea introdotta è sopravvissuta solo per una o due stagioni vegetative, lasciando quindi il posto alla colonizzazione da parte di essenze spontanee. Più recentemente, al tradizionale utilizzo di graminacee e leguminose annuali si è preferito il ricorso all'erba medica, o, in rari casi, anche a graminacee spontanee come *Piptatherum miliaceum* subsp. *miliaceum* o *Hyparrhenia hirta*, partendo da materiale autoctono prelevato in campo. In questi casi è stato possibile il conseguimento di risultati duraturi.

Il frequente insuccesso nell'impianto delle essenze vegetali è stato talora compensato da un ricorso sovradimensionato a supporti antierosivi, come è il caso di biostuoie di juta o paglia rinforzate con reti metalliche zincate a doppia torsione anche su scarpate di modesta altezza e acclività. Qualora tali supporti vengano collocati correttamente, è infatti possibile che la vegetazione spontanea li colonizzi prima che si verifichino fenomeni di cedimento, almeno nelle situazioni caratterizzate da un modesto dislivello.

Fra le esperienze realizzate in ambito fluviale per quanto riguarda le tecniche di IN, deve essere innanzitutto segnalato il progetto Interreg "PROGECO" (<http://www.medocc-progeco.org>), approvato nel dicembre 2003 dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti e realizzato tra il 1 maggio 2004 e il 30 settembre 2006, che ha visto la partecipazione dell'Ente Acque della Sardegna (En.A.S.). Il sito prescelto è stata la valle del Riu Gutturreddu (Uta) all'interno della Riserva Naturale di Monte Arcosu. Nell'ambito del progetto si è intervenuto in tre siti distinti (denominati A, B e C) adottando tecniche differenti:

- A. mantellata viva con piantine radicate e talee autoctone;
- B. rinaturalizzazione con piantine radicate locali (gabbionata rinverdita); risagomatura dell'alveo del Riu Gutturreddu e rinaturalizzazione spondale;
- C. posa di rete metallica e di biostuoia in juta e piantumazione con piante radicate e talee.

L'esecuzione dell'intervento è stata preceduta da un'analisi sulla climatologia del territorio e sull'idrologia del corso d'acqua. E' stata inoltre condotta un'indagine floristica allo scopo di individuare le specie più idonee ai differenti siti di intervento e, all'interno degli stessi, alle differenti collocazioni in relazione al gradiente di umidità edafica.

Sono state utilizzate complessivamente 26 specie autoctone, come sementi, talee o piante radicate. Il progetto ha fornito una notevole quantità di informazioni su tali specie e sulla loro idoneità ai diversi contesti testati. Un altro aspetto importante del progetto riguarda i dati ricavati sulle modalità di moltiplicazione delle stesse specie.

Per quanto attiene gli esempi nel campo del recupero e riqualificazione di siti minerari dismessi, negli ultimi anni sono stati avviati numerosi interventi di bonifica e messa in sicurezza di discariche minerarie. In varie località si è fatto ricorso all'impiego di tecniche di IN, anche se nella maggior parte dei casi sono stati utilizzati materiali e rivestimenti antierosivi senza un'accurata selezione o introduzione di specie vegetali idonee. Un esempio di tali realizzazioni è osservabile presso il sito minerario di S. Giovanni (Iglesias), dove, al margine della strada, una discarica mineraria è stata consolidata attraverso l'utilizzo di reti metalliche e di una steccata realizzata con tavole di circa 30 cm di altezza. Malgrado l'unica specie introdotta (*Pinus halepensis*) abbia avuto una scarsa affermazione, il consolidamento dei materiali si è rivelato comunque efficace, in quanto la copertura degli stessi, con uno spessore di terreno di coltivo e il suddetto impiego del supporto antierosivo, hanno consentito l'insediamento di una copertura erbacea densa e pressoché uniforme.

Sempre in ambito minerario è stata realizzata una delle più importanti esperienze pilota di IN in Sardegna, eseguita dall'AIPIN tra il 1993 e il 1996 nell'ambito di un progetto finanziato dall'Unione Europea (Cornelini & Sauli, 2001). In questo caso si è scelto come sito una superficie omogenea di discarica di sterili nell'area di Campo Pisano (Iglesias), che presentava una pendenza di 40-45°. Su questa sono state realizzate 7 parcelle di dimensioni 5x25 m, adottando su ciascuna una differente tecnica, un'ottava parcella è stata utilizzata come testimone. La scelta delle specie e le tecniche adottate sono le seguenti:

- rivestimento con biofello presemato e preconcimato, fissato con rete metallica a maglia 10 x 10 cm;
- fascinate e cordonate vive di tamerici alternate a messa a dimora di arbusti autoctoni;
- palizzata viva di tamerici;
- copertura con stuoia in fibra di cocco e piantagione di piante erbacee perenni;
- rivestimento in paglia con rizomi sminuzzati di graminacee e semina;
- copertura con terra vegetale, stuoia in fibra di cocco e semina;
- messa a dimora di arbusti autoctoni di gariga mediterranea e cespi di graminacee in vaso;

- testimone (nessun intervento).

L'esecuzione dell'intervento è stato preceduto da analisi floristiche sul territorio, allo scopo di individuare un elenco di specie erbacee e arbustive ecologicamente compatibili. Il risultato migliore è stato ottenuto con le specie legnose introdotte come talee (*Tamarix* sp.) o come arbusti radicati (*Atriplex halimus* e *Artemisia arborescens*).

Attualmente sono in corso di realizzazione interventi di messa in sicurezza di scorie piombifere nell'area di Monteponi (Fig. 5.1). Al completamento delle opere manca ancora la collocazione del terreno di coltivo e l'introduzione dei vegetali. I depositi oggetto di questi interventi risultano alquanto problematici soprattutto per l'elevata inclinazione di alcune scarpate, che raggiungono spesso valori prossimi ai 40°. Un rimodellamento mirato ad attenuare l'acclività o a creare rotture di pendio non è risultato possibile, data la presenza di aree edificate e di infrastrutture intorno alle stesse discariche. Un altro aspetto problematico che caratterizza tali interventi è la necessità di isolare i materiali contaminati attraverso la posa di una guaina impermeabilizzante, necessaria ad impedire il rilascio di metalli tossici nelle acque a valle degli abbancamenti.

Tali interventi presentano quindi caratteristiche differenti rispetto a quelli effettuati sui substrati naturali, su questi ultimi infatti il ruolo dei vegetali è quello di sviluppare l'apparato radicale, non limitandosi a trattenere lo strato più superficiale, ma raggiungendo anche il terreno o la roccia in profondità. Nel caso considerato, al contrario, la funzione delle piante sarà quello di impedire l'erosione delle acque battenti e di ruscellamento, frenando i processi erosivi e trattenendo il terreno in superficie, senza tuttavia svilupparsi in profondità, dove risulta invece indispensabile preservare l'integrità del rivestimento isolante.

Per queste ragioni gli interventi sono stati effettuati facendo ricorso ad un supporto capace di fungere da base di ancoraggio alle radici. Sopra lo strato isolante e sul soprastante rivestimento drenante, è stata quindi posata una geostuoia rinforzata tridimensionale in materiale sintetico. Su questa sarà posato uno strato di pochi decimetri di terreno di coltivo e, al fine di supportare ulteriormente la funzione antierosiva, un secondo rivestimento di materiale vegetale (biostuoia). Su tale struttura le piante saranno introdotte principalmente attraverso un'idrosemina, in minor misura saranno messe a dimora piante vive prodotte in vaso o in fitocella. L'obiettivo è quello di costituire una copertura vegetale densa ed omogenea di erbe perenni cespitose e piccoli arbusti ad elevato potere di disseminazione. Questi si potranno fissare con le radici alla geostuoia fornendo la necessaria stabilità alla struttura, pur senza ancorarsi al substrato naturale sottostante.

Il suddetto progetto non costituisce un modello di intervento da esportare in altre situazioni, le pendenze e i dislivelli eccessivi rappresentano, infatti, aspetti problematici a cui si dovrebbe generalmente ovviare con opportune soluzioni, che permettano anche un ricorso più contenuto a materiali di supporto per il terreno e per le piante. Si tratta tuttavia di un caso limite, in cui seri inconvenienti operativi e di disponibilità di spazio hanno imposto soluzioni particolari, che risultano

sicuramente più complesse ed onerose rispetto a quelle adottabili in contesti nei quali sia possibile modificare le morfologie o sfruttare meglio le superfici limitrofe.



Fig. 5.1 - Interventi di messa in sicurezza realizzati a Monteponi (Iglesias, CI) – Foto M. Casti

Tra le esperienze in ambito regionale costiero si ricordano gli interventi sinteticamente documentati di seguito.

- Gli interventi passivi di contenimento delle sabbie eoliche realizzati ai fini della ricostruzione del sistema dunare di Is Arenas di Narbolia e Funtanamare di Gonnese (Fig. 5.2).



Fig. 5.2 - Sistema retrodunare della spiaggia di Is Arenas interessato da interventi di stabilizzazione mediante schermi a scacchiera – Foto CriteriA

Nel primo caso le opere, realizzate per frenare la progradazione delle dune verso l'entroterra, sono costituite da una struttura assimilabile alla tipologia degli "schermi a scacchiera", formate da fascine morte composte da ramaglie fini di pino, assemblate longitudinalmente e fissate mediante picchetti di legno a formare celle quadrangolari, distribuite mediante la replica di un modulo di due metri di lato lungo la scarpata di retroduna. Dal punto di vista strettamente funzionale, il manufatto esercita una azione di

contenimento delle sabbie di ricaduta lungo la sponda sottovento, rallentando in questo modo l'avanzamento del piede retroduna. Tale tipologia di intervento è generalmente riconducibile, in relazione alla finalità che persegue, ai sistemi di cattura e intrappolamento delle sabbie che, se inseriti in un contesto di avanduna, come fatto in altri contesti, hanno lo scopo di intrappolare la sabbia accumulatasi all'interno delle celle, favorendo il processo di formazione ed evoluzione di dune embrionali, che verrebbero via via stabilizzate spontaneamente dalle specie psammofile pioniere. Questo aspetto appare particolarmente significativo per evidenziare la variazione funzionale che medesime strutture di intervento esprimono in relazione al contesto morfo-dinamico in cui esse sono inserite, esprimendo l'importanza della precisa localizzazione degli interventi nell'ambito del sistema dunare in funzione dell'obiettivo che si intende perseguire. Infatti, interventi di risanamento e di recupero delle condizioni di equilibrio dei sistemi dunali devono essere condotte assecondando i processi di evoluzione in atto nel sistema, attraverso l'analisi e la previsione puntuale delle interazioni fisiche tra struttura dell'opera, dinamiche eoliche, sedimentologiche e floristico-vegetazionali. Le componenti dei sistemi dunari appaiono tra loro strettamente interagenti. I processi di accumulo sedimentario in ambito di avanduna o quelli di stabilizzazione progressiva delle formazioni sabbiose di retroduna, o, ancora, i fenomeni di erosione delle formazioni sabbiose esposte all'azione del vento, siano essi connessi con le spontanee dinamiche evolutive dei corpi dunari o indotti da attività umane incidenti, determinano conseguenze morfo-vegetazionali, non solo nel settore in cui tali processi si manifestano, ma anche nei settori limitrofi, con particolare riferimento alle aree antistanti e a quelle retrostanti, sottolineando nel complesso che le relazioni morfodinamiche avvengono di preferenza lungo una direttrice trasversale al sistema dunare, corrispondente con le direzioni di vento efficaci per la genesi ed evoluzione delle dune stesse. A fini progettuali il riconoscimento dei processi geomorfologici e vegetazionali ed il loro ambito di relazione spaziale appare significativo per acquisire la consapevolezza tecnico-scientifica sulla finalità che deve perseguire qualsiasi intervento in un determinato punto del sistema e quali saranno le ripercussioni sugli altri settori dunari limitrofi o le relazioni funzionali con altri eventuali interventi complementari previsti.

- Gli interventi passivi di contenimento delle sabbie eoliche finalizzati alla ricostruzione del cordone dunare della spiaggia di *Portixeddu* (Buggerru), consistenti nella realizzazione di una palizzata frangivento, composta da più ordini di strutture di protezione e localizzata tra l'avanspiaggia e la strada litoranea che congiunge Fluminimaggiore con Buggerru. La barriera, oltre ad esplicare il suo ruolo di protezione della strada dall'insabbiamento, favorisce la formazione e il mantenimento sottovento del cordone dunare frontale che costituisce, oltre che un elemento di protezione per il retrospiaggia, anche una importante riserva sedimentaria durante le mareggiate. La barriera e le altre opere di protezione, essendo localizzate in un settore geomorfologicamente attivo dal punto di vista dei

processi evolutivi del litorale, vanno ad influenzare il bilancio sedimentario e il libero movimento dei sedimenti lungo il litorale stesso. Tutto ciò da una parte ha favorito la formazione del sistema dunare avanzato che svolge un ruolo essenziale per quanto riguarda il contenimento del trasporto eolico dall'avanspiaggia verso l'interno e per la difesa dei settori di retrospiaggia, d'altra parte si è avuta come conseguenza la modifica del profilo trasversale della spiaggia, con una accentuazione della sua pendenza ed una corrispondente riduzione della superficie fruibile a scopi turistico-ricreativi. Un aspetto da mettere in evidenza in termini di criticità è che, poiché il settore di spiaggia interessato dal progetto è parte di una unità fisiografica più ampia, la realizzazione della strada e delle opere di protezione ha alterato il sistema costituito dall'intera unità di spiaggia costiera rendendolo maggiormente vulnerabile e sensibile ad ogni modificazione, naturale o antropica, della posizione della linea di riva. Va inoltre ricordato che il sistema costiero di Portixeddu rappresenta uno dei più estesi campi dunari della Sardegna, e che al pari di quelli di Fontanamare (Gonnesa), Is Arenas (Narbolia) e Platamona (Sassari), è stato interessato in passato da interventi di forestazione intensiva finalizzati all'imbrigliamento delle sabbie. Di recente interventi di consolidamento in ambito dunare hanno interessato spiagge nei comuni di Sassari (Porto Ferro), Sorso (Platamona), Stintino (La Pelosa), Domus de Maria (Chia), Cabras (Mari Ermi) e Villasimius (Notteri).

- Infine, gli interventi di protezione e riforestazione nell'ambito della gestione condotta dall'Ente Foreste in un'ampia fascia dunale profonda mediamente 130 m e che si sviluppa longitudinalmente alla costa per circa 5,5 km, appartenente al sistema di spiaggia di Paduledda-Li Junchi nel Comune di Badesi. I corpi dunari sono dominati da una fitta boscaglia autoctona a ginepro frammista a specie come il pino domestico e altre esotiche, quali *Acacia saligna*., utilizzate comunemente negli interventi di forestazione e stabilizzazione della sabbie. La spiaggia ha una profondità media di circa 40 metri ed è delimitata internamente dalle barriere frangivento in legno e fascinate di cisto, che conducono alla formazione di un continuo cordone dunare, non sempre coerente con la seriazione vegetazionale spontanea e le dinamiche sedimentarie del sistema duna-spiaggia.

Si rammenta che già diversi decenni or sono, con finalità di salvaguardia agraria, la Cassa del Mezzogiorno finanziò opere d'imbrigliamento dunare in settori costieri attualmente appartenenti ai comuni di Buggerru, Narbolia, Aglientu, Sorso, Siniscola, Sassari.

5.2 Inquadramento dei contesti territoriali

Alla luce della caratterizzazione delle situazioni effettivamente riscontrate e presenti sul territorio e degli obiettivi analizzati (riduzione del dissesto in primis, miglioramento paesaggistico-ambientale e

beneficio socio-economico), si è proceduto alla suddivisione per tipologie di situazioni, in modo da facilitare l'orientamento applicativo delle linee guida d'intervento.

Le specificità della Sardegna richiedono, anche in termini di principali categorie ambientali d'interesse, che all'interno delle Linee Guida vengano affrontate, oltre alle casistiche più classiche in ambito fluviale e di versante, anche specifici campi di intervento la cui significatività assume una particolare rilevanza in ambito regionale.

Tenendo conto delle caratteristiche applicative intrinseche dell'IN e del territorio sardo, ci si è concentrati quindi sui seguenti contesti, sempre solo se interessati da rischio:

- A. corsi d'acqua naturali
- B. corsi d'acqua canalizzati o arginati
- C. bacini artificiali e canali di bonifica
- D. versanti e costoni rocciosi su abitati
- E. viabilità e scarpate stradali
- F. miniere, cave, discariche e colmate
- G. dune e litorali sabbiosi
- H. falesie costiere
- I. zone umide e foci fluviali.

Alla trattazione dei contesti si è dato quindi notevole spazio, rappresentando in particolare una rassegna di casistiche raccolte nelle indagini sul campo (si ritiene che questa modalità dell'indagine territoriale specifica preventiva caratterizzi il presente lavoro rispetto alla standardizzazione di linee guida prodotte altrove). È stata condotta un'analisi di svariati siti presenti sul territorio regionale che comprendono tali casistiche e di essi viene prodotto uno screening, al fine di giungere alla selezione di situazioni rappresentative delle problematiche che interessano tali contesti e che offrano potenzialità applicative dell'IN.

Va considerata infine la particolare importanza rivestita dagli interventi di riassetto idrogeologico delle superfici (perlopiù versanti e scarpate) interessate da incendi (Fig. 5.3; Fig. 5.4), poiché la mancanza di una copertura vegetale continua determina un processo di vulnerabilità e accelerazione dei fenomeni erosivi e di impoverimento dei suoli.



Fig. 5.3 - Erosione su area percorsa da incendio nei pressi di San Nicolò Gerrei (CA) – Foto A. Forci

Fig. 5.4 – Sughereta percorsa da incendio presso Monteponi (Iglesias, CI). Foto M. Casti

In tali casi verranno proposte strategie per intervenire con tecniche di IN a “pronto effetto”, basate sul reperimento di materiale sul posto e introducendo specie vegetali e configurazioni delle superfici rinverdate tali da prevenire e difendere il territorio da successivi futuri ulteriori rischi d’incendio.

5.3 Applicabilità dell’IN nel territorio sardo e nei singoli contesti applicativi

5.3.1 Possibilità applicative dell’IN in Sardegna

Nei paragrafi precedenti si è visto come, pur con tutti i limiti dovuti sia a fattori fisici che, soprattutto, di mercato e culturali, le tecniche di IN possano trovare anche in Sardegna un adeguato sviluppo almeno in taluni contesti applicativi, a patto che le condizioni operative di intervento consentano sistemazioni compatibili con le caratteristiche geomorfologiche, geotecniche ed ecologiche dei luoghi.

I corsi d’acqua, sia a carattere permanente che stagionale, rappresentano sicuramente i contesti dove le tecniche dell’IN trovano le più ampie possibilità di applicazione, come ampiamente verificato nei sopralluoghi effettuati. I depositi alluvionali, soprattutto quelli più recenti, presentano infatti caratteristiche idonee per granulometria, consistenza, umidità etc. all’impianto di specie vegetali con funzioni “ingegneristiche” e risultano ben rappresentati nelle aree di pianura sia lungo i corsi d’acqua più grandi, come ad esempio il Tirso, sia lungo i corsi d’acqua di ordine decisamente inferiore. Più problematici, come già ricordato, appaiono invece i corsi d’acqua ad elevato trasporto solido, che caratterizzano le fasce pedemontane soprattutto della Sardegna orientale e meridionale, dove comunque la presenza di molteplici situazioni morfo-litologiche non esclude a priori l’applicazione dell’IN negli interventi di mitigazione del rischio.

Nei settori montani sono poche le tipologie di sponde naturali ove è applicabile l’IN, poiché molti dei relativi substrati sono perlopiù rocciosi e con soprassuolo pressoché inesistente, qui l’IN può

essere utilizzata, tuttavia, per contrastare soprattutto il fenomeno delle colate di detrito mediante il ricorso all'impiego di briglie che prevedano l'impiego congiunto di legname o pietrame ed elementi vegetali vivi.

Tutti questi elementi devono, quindi, far ritenere decisivo e irrinunciabile l'obiettivo che la sistemazione degli alvei debba fare i conti anche con:

- un'oculata gestione dei sedimenti per la garanzia degli equilibri idro-geomorfologici sia della rete idrografica che dei litorali che sottendono i bacini,
- un'attività di conservazione messa in atto con approcci contestualizzati e diversi a seconda che il tratto idrografico si collochi su fisiografia di monte o di piana.

Sempre in ambito fluviale, un settore fondamentale dell'impiego dell'IN, che ancora non trova applicazione nell'Isola, come già accennato, è quello della riqualificazione fluviale che dovrà prima o poi interessare le centinaia di interventi di cementificazione degli alvei che sono stati realizzati nel corso degli ultimi decenni e che, oltre ad aver comportato gravi danni ambientali, vedono talvolta compromessa anche l'originaria funzionalità idraulica.

Per quanto riguarda i versanti si può ritenere che l'IN applicata alla riduzione del rischio di frana possa fornire un contributo importante ma complementare, utile al contenimento dei fenomeni erosivi e al reinserimento ambientale e paesistico più che alla stabilizzazione vera e propria.

Ovviamente nelle situazioni di dissesti su terre (Fig. 5.5) e quindi non su rocce a nudo, né su blocchi prismatici instabili, ci si potrà accostare all'impiego di soluzioni naturalistiche in modo più tradizionale, ma sempre tenendo ben presenti l'incidenza delle variabili geo-pedologiche e climatiche locali.



Fig. 5.5 - Piccola frana di colamento sulle marne del Miocene medio di Tissi (SS).

È questo per esempio il caso di dissesti su corpi geologici superficiali (detriti di versante) o naturalmente stabilizzati originati da movimenti di frana antichi (paleofrane) e non ancora del tutto diagnosticati, che tendono spesso per la loro costituzione litologica (limi e argille con inclusi lapidei)

a diventare localmente instabili (Anglona, Logudoro, Marmilla), specie se interessati da interventi di scavo per opere di ingegneria civile.

Uno degli ambiti dove resta ancora un largo margine di miglioramento è rappresentato dalle numerose trincee stradali, ricavate in assenza o carenza degli opportuni approcci geologici e geotecnici e nei sottoscarpa non protetti di tratti in rilevato o riporto.

Tra le applicazioni dell'IN non si possono trascurare le cave e le miniere dismesse soprattutto quando queste devono nuovamente essere rese disponibili all'utilizzo da parte della collettività o quando si devono limitare i processi erosivi su depositi inquinanti, come le vecchie discariche minerarie che caratterizzano alcuni settori del paesaggio sardo (Sulcis-Iglesiente, Sarrabus etc.). Ovviamente anche in questi ambienti le possibilità di riuscita dipendono dagli stessi fattori fisici e biologici degli ambienti naturali.

Importanti campi di applicazione dell'IN sono rappresentati infine dalle aree percorse da incendio, dove si devono limitare i fenomeni di erosione del suolo. Questi ultimi risultano quasi sempre irreversibili e hanno ripercussioni sul trasporto solido dei corsi d'acqua finendo con incrementare gli effetti distruttivi delle piene.

Per quanto riguarda la selezione delle specie vegetali, si può affermare in linea generale che, nelle scelte relative agli interventi, deve essere di norma prescritto l'impiego dei *taxa* naturalmente presenti nell'area d'intervento e/o in quelle limitrofe. E' altresì fondamentale scegliere genotipi locali che mostrano quindi adattamenti alle condizioni pedoclimatiche dei contesti in cui si opera. Ciò permette di limitare il fenomeno delle fallanze e, al tempo stesso, evita forme di inquinamento genico che, come conseguenza nel medio-lungo periodo, causano fenomeni di erosione genetica e conseguente deriva.

Un aspetto da tenere in considerazione nelle situazioni di maggiore aridità è determinato dal fattore tempo. Si deve infatti tenere presente che lo stress idrico, anche per le specie più tolleranti alla siccità, può influire fortemente sulla produzione di biomassa. Al momento di impiantare una specie legnosa, sia essa fruticosa, arbustiva o arborea, si dovrebbe pertanto tenere conto del fatto che la sua velocità di accrescimento non è la stessa in tutti i contesti climatici, ma varia al contrario in modo molto significativo in funzione delle disponibilità idriche durante i vari periodi dell'anno.

Va comunque precisato che non sempre la scarsa produzione di biomassa epigea, e in particolare dell'apparato fogliare, corrisponde ad una riduzione del sistema radicale. Più spesso avviene invece il contrario, ossia la pianta sottoposta a stress idrico è stimolata a sviluppare radici più estese e profonde alla ricerca di acqua nel terreno. Non è quindi sempre possibile ricollegare uno scarso sviluppo epigeo della pianta ad una riduzione della sua funzionalità nel consolidamento del substrato, anche se, in una situazione ideale, un rilevante sviluppo degli apparati epigei costituisce un dato positivo, in quanto attutisce la forza delle piogge battenti, riduce gli effetti negativi del ruscellamento e arricchisce gli orizzonti organici dei suoli con l'apporto di tessuti morti, favorendo

quindi l'insediamento di specie più esigenti legate a stadi maggiormente evoluti delle serie dinamiche.

Per quanto appena detto, sarebbe opportuno, in caso di interventi di IN effettuati nelle aree più aride e di bassa quota, prevedere sempre la possibilità di effettuare irrigazioni di emergenza in caso di visibili sintomi di stress idrico che possano manifestarsi non solo nel periodo estivo. Questo è importante anche in relazione alla notevole variabilità nei valori di precipitazioni che si riscontra in anni diversi. Un intervento che ha avuto esito positivo, ripetuto nello stesso contesto ma in un anno differente, potrebbe infatti non avere lo stesso risultato se l'entità delle piogge risultasse diversa.

5.4 Problematiche riferite ai contesti applicativi

A. CORSI D'ACQUA NATURALI

Nell'esaminare il contesto dei corsi d'acqua naturali, occorre premettere che esiste una fondamentale distinzione tra la finalità degli interventi progettati in questi ambiti rispetto a tutti gli altri. Va infatti ricordato che, di norma, le opere di rivegetazione o rinaturazione mirano al raggiungimento di una situazione la più possibile vicina a quella naturale, allo scopo di voler riparare un danno causato al paesaggio e/o agli ecosistemi da pregressi progetti o azioni diffuse sul territorio, che si sono sviluppati senza tener conto delle dinamiche fluviali né dell'importanza della vegetazione riparia (capacità di fitodepurazione, habitat per la nidificazione della fauna, attività turistiche e ricreative, etc.).

Nel caso dei corsi d'acqua succede invece, nella maggior parte dei casi, che si affronti come un problema proprio l'eccessiva naturalità del fiume, il quale, visto come elemento di minaccia, deve essere in qualche modo controllato e contenuto, tanto nelle sue possibilità di espansione, quanto nelle sue tendenze a modificare il proprio corso. Avviene pertanto che fenomeni del tutto naturali, come l'erosione spondale (Fig. 5.6; Fig. 5.7), vengano considerati sempre come problemi per la gestione del territorio, mentre rappresentano una naturale tendenza del sistema a trovare un nuovo equilibrio.

Nel contempo non è affatto rara la tendenza a realizzare, in contesti idrograficamente e geomorfologicamente uniformi, nonché litologicamente identici interventi per "lotti", che impiegano soluzioni palesemente dissimili fra loro. In tal senso del tutto didattico può dirsi il caso ravvisato sul Riu di San Teodoro presso *Badualga*, con posa in opera di gabbionate in Sx e biostuoie in Dx su roccia, entrambe totalmente asportate nel recente evento alluvionale del 24 Settembre 2009).



Fig. 5.6 – L'erosione di sponda non sempre rappresenta una situazione di rischio se non interferisce con elementi antropici - Riu di Monte Nieddu (Sarroch, CA) - Foto A. Forci.

Fig. 5.7 - Erosione di sponda che interferisce con la S.P. Trudda – Santa Giusta, Loiri-Porto San Paolo (OT) con formazione di fenomeni di tipo soil slip – Foto G. Tilocca.

Come tipico esempio si può citare il fenomeno della meandrizzazione del fiume, che tende a verificarsi in aree pianeggianti e quindi fortemente antropizzate. Quando questo processo porta l'alveo a spostarsi verso aree agricole e urbanizzate, l'esigenza di frenarne le variazioni è dovuta più alla salvaguardia di un particolare uso del suolo che ad una effettiva situazione di degrado o pericolo.

E' in questi contesti che trovano ampie possibilità di applicazione le tecniche dell'IN. Per quanto riguarda le altre situazioni che si presentano lungo i corsi d'acqua naturali, sono poche le tipologie di sponde naturali ove è applicabile l'IN, poiché molti dei relativi substrati sono perlopiù rocciosi e con soprassuolo pressoché inesistente. Le scarse possibilità applicative in questi ambiti non rappresentano tuttavia un problema, in quanto, grazie alla stessa natura rocciosa, non si presenta l'esigenza di opere volte a contenere il fenomeno erosivo.

Tuttavia, nella maggior parte dei casi, pur essendoci una certa pericolosità idrogeologica, non si verificano situazioni di rischio tali da richiedere interventi; anzi, spesso ci si trova in presenza di condizioni naturalistiche di pregio che non dovrebbero essere perturbate con interventi idraulici. Questi ultimi, infatti, oltre che danneggiare l'ecosistema fluviale potrebbero comprometterne l'equilibrio dinamico ed innescare processi erosivi distruttivi.

Per quanto riguarda l'aspetto ecologico, nel caso dei meandri, la disposizione delle comunità vegetali lungo una sezione trasversale non è simmetrica. Sulla sponda in fase di espansione si osserveranno gradienti di umidità spazialmente ben distribuiti, che vedono una corrispondente distribuzione delle comunità vegetali: fitocenosi sommerse, semisommerse (elofitiche), formazioni pioniere dei depositi alluvionali, boscaglie igrofile e mesoigrofile. Sulla sponda opposta, al contrario, si potrà osservare una netta transizione dalle acque più profonde alle superfici occupate da formazioni arbustive o arboree.

E' proprio su queste sponde che la forza delle acque di piena, agendo al piede della scarpata, impedisce un adeguato sviluppo delle comunità vegetali. A questi processi può unirsi l'azione antropica che degrada il suolo anche sulla parte più elevata dell'alveo, attraverso la pratica della bruciatura delle stoppie, che coinvolge talora anche formazioni igrofile, o mediante l'eliminazione diretta delle formazioni riparie quando esse tendono ad invadere i fondi privati.

L'applicazione dell'IN dovrà tenere conto, in questi casi, sia della forza erosiva delle acque alla base della scarpata, sia della differenza di umidità edafica tra la base stessa e la parte sommitale, che comporterà, dal punto di vista dell'impianto di specie vegetali, una particolare distribuzione spaziale delle stesse.

In prossimità dell'acqua sarà necessaria la collocazione di arbusti con elevata biomassa, in grado di esercitare una significativa azione di contenimento della forza delle acque. Allo stesso tempo gli arbusti dovranno possedere caratteristiche di elevata elasticità e flessibilità, per non essere spezzati dalla forza delle correnti. Altra caratteristica importante sarà quella dello sviluppo e della resistenza degli apparati radicali. Va comunque precisato che solo raramente, in queste situazioni, si ha la presenza di battente idrico per tutto il periodo dell'anno; pertanto non sono applicabili, tranne in casi particolari, tecniche che presuppongano l'impiego di specie vegetali marcatamente igrofile. In tali casi si deve quindi ricorrere alle specie arbustive caratteristiche dei corsi d'acqua mediterranei, ben adattate all'alternanza di periodi umidi e secchi e spesso capaci di attingere all'umidità della falda durante la stagione estiva.

Nei casi in cui occorranò opere di sostegno – quindi più profonde – è più facilmente prevedibile l'applicazione di piantine radicate e anche di talee, se il substrato a media profondità risulta sufficientemente umido anche nelle stagioni aride.

Lungo la scarpata, in posizione più elevata, il requisito dell'igrofilia sarà meno importante, mentre lo saranno ancora la capacità di sviluppo di biomassa e di consolidamento dei versanti attraverso lo sviluppo degli apparati radicali.

Infine, la sommità della scarpata potrà essere ulteriormente consolidata con specie arboree tipiche delle aree planiziali o con arbusti che possono essere in contatto catenale con le stesse e costituire dei mantelli.

Nell'ambito dei corsi d'acqua naturali che mantengono un livello minimo vitale, riveste importanza anche la continuità del corso d'acqua. Situazioni di riequilibrio del profilo dell'asta (briglie, soglie) o di protezione di manufatti (pile di ponti) possono essere risolte in molti casi con opere di IN.

Nei casi in cui sia possibile, occorrerà intervenire con opere più funzionali per la fauna ittica attraverso la realizzazione di rampe che dovranno essere progettate utilizzando materiale litoide locale o simile affinché si possano inserire nel paesaggio circostante.

Dopo queste considerazioni, il principio fondamentale che deve guidare un qualsiasi intervento di IN deve essere vincolato al concetto di *intervenire quando serve e quanto basta*, senza escludere a priori l'opzione zero, ovvero lasciare libera la dinamica fluviale di evolversi in base al proprio equilibrio dinamico. Perciò occorre valutare bene il danno ed il pericolo potenziale per l'uomo e le sue attività economiche prima di qualsiasi intervento. Nel caso si decidesse di intervenire, la progettazione di opere a "verde" lungo un corso d'acqua può contribuire a migliorare anche la diversità morfologica, che si traduce successivamente anche in biodiversità.

Tutto ciò potrà permettere di aumentare le aree di pertinenza che possono incrementare, soprattutto in paesaggi o campagne urbanizzati, la fruibilità e la qualità della vita della componente antropica.

B. CORSI D'ACQUA CANALIZZATI E ARGINATI

Oltre alle situazioni appena descritte, i campi d'intervento per il consolidamento delle sponde fluviali si estendono ad un'ampia casistica di situazioni più o meno artificializzate (Figg. 5.8; 5.9).

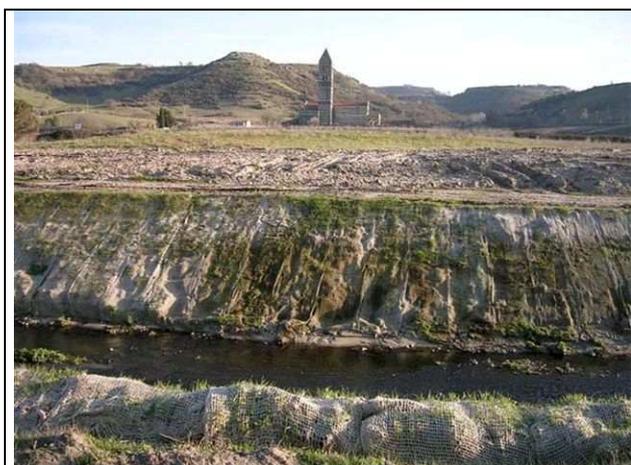


Fig. 5.8 - Riu Murrone (Codrongianos - SS): interventi di sistemazione idraulica con soluzioni a basso impatto ambientale - Foto A. Forci.



Fig. 5.9 - Opere di protezione spondale e di arginatura lungo il Riu Puddina (Bortigjadas, OT) - Foto G. Tilocca.

Al di là dell'erosione sulle sponde, si deve considerare, infatti, quella che interessa gli argini artificiali e gli alvei cementificati.

Un argine artificiale può essere realizzato in aree a rischio, sia in ambiti di mediocre qualità ambientale, sia in contesti di elevata naturalità.

In ambedue i casi il manufatto può apparire come estraneo ai vari contesti in cui si inserisce e soprattutto in quelli dove il mosaico ecologico è più caratterizzato.

In ambedue i casi, gli interventi di rinverdimento possono migliorare visivamente queste opere, facendole divenire elementi integrati nel paesaggio circostante e possono anche contribuire a migliorare la rete ecologica locale e la fruizione. Va comunque sottolineato che si può parlare di IN solamente quando le piante utilizzate per realizzare la copertura vegetale dell'argine non hanno

solo una funzione estetica, ma contribuiscono anche al consolidamento della struttura e si integrano con la flora autoctona e la vegetazione circostante.

Operare in contesti privi di un substrato pedologico naturale presenta comunque dei limiti agli interventi di rinaturalizzazione in questi ambiti. Oltre alle possibili difficoltà tecniche, si devono considerare i limiti operativi, legati al fatto che le opere di canalizzazione fluviale sono state normalmente realizzate per esigenze di tutela di aree antropizzate (anche se ciò non è sempre vero). Un ritorno ad una situazione di completa naturalità potrebbe pertanto rappresentare una riduzione di efficienza dell'opera stessa e un problema per la sicurezza umana. In particolare, l'introduzione delle specie vegetali deve essere pianificata evitando una riduzione della sezione dell'alveo tale da non soddisfare i livelli idraulici di sicurezza prefissati. Allo stesso modo un ampliamento della sezione d'alveo deve fare i conti con la riduzione dell'altezza della superficie idrica ovvero del contorno bagnato sulle sponde e con la tendenza all'aggradazione dei sedimenti, soprattutto nei contesti gravati da elevato trasporto solido (in genere hanno questa caratteristica tutte le reti idrografiche "orientali della Sardegna, ovvero drenanti verso il Mar Tirreno).

Grandi potenzialità possono derivare da una progettazione che tenga conto della dinamica dell'ecosistema fluviale, attraverso interventi di ripensamento della dimensione dell'alveo, intervenendo in tutti i casi possibili con ampliamenti delle sezioni idrauliche e contemporanea diversificazione della morfologia spondale.

Le opere di canalizzazione dei corsi d'acqua possono presentare generalmente tre tipi di problematiche:

- mostrano segni di cedimento e malfunzionamento;
- necessitano di rinaturalizzazione;
- necessitano di un miglioramento estetico tramite la creazione di un'adeguata copertura vegetale.

Nel caso di cedimento strutturale di argini o alvei artificiali, le tecniche IN appaiono le più idonee qualora sia possibile consolidare e rinaturalizzare al tempo stesso la struttura.

Volendo fornire indirizzi di intervento per la realizzazione della copertura vegetale in questi contesti, occorre innanzitutto valutare la distanza dall'alveo, la portata del fiume, l'altezza del manufatto e la struttura dello stesso.

Per argini artificiali realizzati a distanza di molti metri dall'alveo di magra, le specie ripariali potrebbero risentire di effetti da stress idrico e disseccarsi nel volgere di breve tempo. In tale ottica si potranno utilizzare specie meso-igrofile o fanerofite legate alle serie climatofile. Queste ultime, infatti, si troveranno in situazioni caratterizzate da una disponibilità d'acqua che dipende più dagli apporti meteorici che dalla vicinanza dell'alveo fluviale. Se sommerse dalle acque delle piene,

queste specie potranno riportare segni di sofferenza, ma sopravviveranno senza significative conseguenze, vista la breve durata che caratterizza tali eventi in Sardegna.

Al contrario, per quanto riguarda gli alvei delimitati da strutture con sezioni ristrette, i criteri di inserimento delle specie vegetali saranno analoghi a quelli adottati nei casi di erosione spondale. Anche in questi contesti, infatti, si presenta un passaggio alquanto netto tra una parte basale, soggetta a quasi totale sommersione, e una più elevata con tenori di umidità nel substrato significativamente più bassi.

L'assenza di un suolo naturale soggetto a imbibizione può rendere ancora più marcato questo passaggio, limitando ulteriormente le possibilità d'intervento. Per tale ragione, quando è possibile l'insediamento di specie vegetali all'interno dei corsi d'acqua canalizzati, le comunità elofitiche di canneto o tifeto sono le uniche a potersi sviluppare.

Al contrario, su argini artificiali o lungo gli alvei canalizzati, la costituzione di boscaglie edafoigrofile è, in molti casi, impedita da fattori quali l'assenza di suoli profondi su cui impiantarsi, così come dalla mancanza di un substrato umido ma non sommerso. Per questa ragione le specie arbustive si presentano difficilmente inseribili in questi contesti. Tuttavia, esse potrebbero efficacemente inserirsi in alvei modificati, qualora le opere in calcestruzzo o in gabbionate e materassi, mostrassero aree di cedimento o di rottura sufficientemente estese da poter programmare, all'interno delle stesse, la predisposizione di spazi idonei a queste specie. In ogni caso, dovrà essere opportunamente valutato se le chiome degli arbusti ripariali impiantati possano interferire con il deflusso delle acque occupando una sezione significativa dell'alveo stesso.

Accanto alle opere di riparazione di argini artificiali rigidi danneggiati, sarebbe opportuno considerare anche quelle di rinaturazione del corso d'acqua o, perlomeno, di parziale (se non possibilmente totale) decementificazione. Per queste si dovrebbe considerare anche un adeguamento dell'alveo, spesso troppo ridimensionato dalle opere murarie, tale da consentire l'inserimento delle specie arbustive e/o arboree tipiche degli alvei naturali.

Il rifacimento degli argini con l'inserimento di comunità vegetali riparie dovrebbe tenere conto, ancora una volta, dell'umidità relativa del substrato lungo la sezione dell'argine.

Per quanto riguarda, infine, le opere di miglioramento estetico, non sembra appropriato parlare di adozione di tecniche di IN, a meno che il rivestimento di strutture preesistenti, come per esempio i gabbioni, non comporti la realizzazione sugli stessi di coperture di materiali la cui stabilità venga garantita dallo sviluppo delle piante messe a dimora.

C. BACINI ARTIFICIALI E CANALI DI BONIFICA

Questi casi si differenziano sensibilmente dai precedenti, sia per la presenza di acqua, di solito anche nei periodi di aridità estiva, sia per una più diffusa presenza di substrato fertile, e sono

pertanto quelli ove è più facile l'applicazione delle tecniche classiche di IN, anche se la diffusione applicativa è limitata dalla minore corrispondenza di condizioni di rischio idrogeologico.

Occorre tuttavia osservare che, da un lato, non sono poche le aree a canali di bonifica in cui il P.A.I. localizza la sussistenza di pericoli idraulici anche elevati (ad esempio all'interno dei bacini idrografici del Flumini Mannu, del Cixerri, del Coghinis, ecc.) e che, dall'altro, numerose di tali opere, unitamente a strutture arginali che le completano, manifestano particolari condizioni di vetustà e di ammaloramento (si pensi al caso del Riu Posada) che ne richiedono urgentemente la riqualificazione o addirittura la sostituzione con interventi di nuova concezione. Fra di esse, quelle realizzate decine di anni or sono con manufatti in cemento, potrebbero essere suscettibili di riqualificazioni a minore impatto paesistico (Riu Altana di Perfugas).

Recentemente la R.A.S. con la L. R. n. 12/2007 *Norme in materia di progettazione, costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei relativi bacini di accumulo di competenza della Regione Sardegna* ha assunto un ruolo più operativo in un campo che, in particolare per i bacini artificiali minori, appare ancora piuttosto carente di rispetto della disciplina. Sono state inoltre elaborate dall'Assessorato dei LL. PP. e della Difesa dell'Ambiente le *Linee Guida per la predisposizione dei progetti di gestione degli invasi e per l'esecuzione delle operazioni*. In tal senso è auspicabile che, considerati gli ambienti e le soluzioni costruttive, in larga misura incentrate su opere in terra, l'IN possa trovarvi impiego almeno per la parte che riguarda il consolidamento dei paramenti di valle e delle ripe.

D. VERSANTI E COSTONI ROCCIOSI SU ABITATI

Le problematiche relative al dissesto dei versanti e dei costoni rocciosi sono generalmente difficili da affrontare con le tecniche di IN, specialmente in ambito mediterraneo, soprattutto quando riguardano superfici molto ampie ed estese in altezza. I problemi di erosione dei versanti devono quindi essere affrontati con interventi di differente tipologia, che prevedono un ricorso limitato all'IN e una più diffusa opera di riforestazione o di facilitazione dei naturali processi evolutivi della copertura vegetale. Sulla base di quanto già osservato a proposito del degrado ambientale, infatti, risulta importante tenere conto del fatto che un versante colonizzato anche da formazioni seriali di macchia alta o bassa può esercitare un efficace contenimento dei fenomeni erosivi senza che sia necessario pianificare opere di rimboschimento.

Per quanto riguarda il ricorso alle tecniche dell'IN, queste saranno utilizzabili per lo più in situazioni di rischio particolarmente significativo e devono prevedere, per quanto possibile, preliminari interventi di messa in sicurezza.

In funzione delle caratteristiche stazionali come la profondità del suolo, l'ampiezza e l'acclività dell'area di intervento, ma anche in relazione all'urgenza di realizzare interventi particolarmente efficaci, si potranno adottare tecniche differenti per tipologie e costi.

Ove la superficie è composta da roccia nuda, ovviamente non vi sono possibilità di collocazione di opere di IN. In presenza di fratture, si può valutare l'inserimento di piantagioni arbustive ed erbacee puntuali, a patto che le fratture stesse non siano un sintomo dell'instabilità del costone.

Qualora invece (come abbiamo verificato in diversi casi) sia presente un sufficiente spessore di suolo, si può studiare l'applicazione di interventi di IN, facilitata se la pendenza è modesta o se c'è la possibilità di "romperla"; altrimenti, se la pendenza è eccessiva per tutto lo sviluppo della scarpata, si devono prevedere sistemi di rinforzo su cui contestualmente impiantare la vegetazione.

Su superfici ampie e terreni poco profondi, si potrà preferire l'utilizzo di tecniche meno dispendiose con la posa di supporti antierosivi e specie vegetali fruticose o erbacee perenni. Queste risultano idonee in questi contesti in quanto possiedono una forte resistenza alla siccità, un'alta facilità di attecchimento sui substrati poveri e poco profondi e un'elevata produzione di semi, che ne facilita la diffusione e la moltiplicazione.

Nelle situazioni in cui si ritenga necessaria una maggiore rapidità della ricostituzione di formazioni evolute, le tecniche da adottare saranno più complesse e onerose rispetto alla posa di reti o stuoie, in quanto dovranno essere finalizzate a favorire la messa a dimora e lo sviluppo di piante vive appartenenti a specie arbustive e arboree. In questi casi le possibilità di intervento dipenderanno anche dal tipo di substrato e, quindi, dalla necessità o meno di un apporto di terreno e/o ammendanti che potrà essere incrementato con particolari tecniche di IN.

E. VIABILITÀ E SCARPATE STRADALI

Le opere di rinverdimento in questi contesti possono svolgere due particolari funzioni: mitigare l'impatto visivo e contribuire a ricostituire particolari ecotoni tra macchie e aree boscate, tra frange di vegetazione o addirittura contribuire ad estendere la rete ecologica locale; solo in casi più limitati assumono il significato di interventi di stabilizzazione. Infatti, le trincee e i tagli vengono progettati, nella maggior parte dei casi, in modo che un parziale trasporto a valle del terreno non pregiudichi la sicurezza dell'opera stessa per tempi medio-lunghi.

Anche in questi casi le opere di IN possono trovare massimo utilizzo se l'intero processo progettuale è concepito con un'ampia visione della complessità del paesaggio, tale che gli interventi siano progettati in armonia con la struttura e le funzioni del tipo di paesaggio attraversato, che le opere tradizionali normalmente non considerano.

Questi contesti, pur soggetti a fenomeni di erosione, nella maggior parte dei casi vengono gradualmente colonizzati dalla vegetazione spontanea (Fig. 5.10).



*Fig. 5.10 - Colonizzazione di scarpata stradale da parte di *Phagnalon saxatile* sulla S.S. 131 (Monastir, CA) – Foto M. Casti.*

I lenti, ma evidenti, processi di colonizzazione di scarpate nude, spesso rocciose, da parte delle piante spontanee, dimostrano come esista un significativo contingente della flora sarda capace di svilupparsi in condizioni estremamente difficili. Nello stesso tempo, l'esame di queste situazioni consente di individuare le specie che meglio si prestano alle opere di rinverdimento di tali contesti.

I fronti rocciosi presentano spesso una sufficiente compattezza e stabilità, tali da non creare situazioni di dissesto. Il distacco di massi può rappresentare un serio rischio per le vie di comunicazione sottostanti, per cui sovente è stato posto rimedio con le reti o barriere paramassi.



Fig. 5.11 - Fenomeni di crollo diffuso in litologie ignimbriche mioceniche (S.S. 127 Sedini – Castelsardo, SS) – Foto G. Tilocca

Tuttavia, in alcuni casi, esiste la possibilità di intervento anche con tecniche di IN. Ove la superficie è composta da roccia nuda, si può prevedere l'inserimento di piantagioni arbustive ed erbacee puntuali in presenza di fratture, come già indicato a proposito dei versanti.

Molto più vasto è il campo di applicazione su scarpate formate da materiali facilmente erodibili, costituite soprattutto da depositi sedimentari di varia natura o da prodotti di alterazione (Fig. 5.12).



Fig. 5.12 - Colamenti (soil slips) su piroclastiti bentonizzate del Miocene inferiore, km 6,0 S.S. 672 Ploaghe – Perfugas (SS) – Foto G. Tilocca

Numerose specie vegetali possono sviluppare, su questi substrati, i propri apparati radicali, soprattutto se il versante può essere terrazzato o modellato con basse pendenze. Come in altri contesti precedentemente analizzati, le entità pioniere da preferire saranno prevalentemente emicriptofite e camefite con elevato sviluppo radicale, alta tolleranza alla siccità e facilità di propagazione da seme.

In questi casi si dovranno tenere in considerazione i raggruppamenti vegetali circostanti affinché non si realizzino situazioni artificiali di rinverdimento, ma si cerchi di riprodurre la vegetazione spontanea limitrofa (Fig. 5.13).



Fig. 5.13 - Propagazione spontanea di *Artemisia arborescens* su scarpata stradale in erosione – Foto M. Casti

F. MINIERE, CAVE, DISCARICHE E COLMATE

Le attività estrattive rappresentano in Sardegna uno degli elementi che caratterizzano maggiormente il paesaggio, sia per l'alterazione delle morfologie, dovuta agli scavi a cielo aperto, sia per la produzione di ingenti quantitativi di materiali di scarto, spesso altamente inquinanti, abbancati presso tutti i principali siti minerari dismessi.

Una specifica considerazione dovrà essere quindi dedicata al problema del riassetto, recupero e riqualificazione delle aree minerarie in relazione alla rilevanza peculiare che tali ambiti assumono in Sardegna, sempre ove sussistano condizioni di rischio idrogeologico.

La modificazione dei versanti, connessa principalmente alle attività di cava, presenta spesso un recupero paesaggistico molto complesso, dovuto principalmente alle tecniche di coltivazione, che consistono in tagli verticali o subverticali, sui quali risulta impossibile intervenire con opere di rivegetazione sia tradizionali che di IN. Sui fronti meno acclivi, e soprattutto su quelli costituiti da materiali meno compatti (argille, arenarie, ecc.), è invece possibile adottare le tecniche applicabili sulle scarpate stradali.

Le scorie minerarie, al contrario, pongono problemi di natura differente, in quanto alla necessità di stabilizzare gli abbancamenti si aggiunge quella di evitare la dispersione di sostanze inquinanti.

L'attuale normativa sulle bonifiche ambientali parte dall'analisi dei materiali inquinanti per verificarne la pericolosità. In tal modo viene stabilito se i materiali stessi possono essere lasciati in posto o se devono essere trasportati in discariche realizzate appositamente per accoglierli.

Nel primo caso esistono ampie possibilità di applicazione dell'IN, finalizzate a creare sui depositi di materiali una copertura vegetale idonea sia al miglioramento del paesaggio (imboschimenti, riprofilature, miglioramento estetico, etc.), sia alla stabilizzazione delle scarpate. In questi casi sarà opportuno selezionare specie metallo-tolleranti e/o accumulatrici che si potranno utilizzare per integrare le tecniche di IN con quelle di fitostabilizzazione e fitoestrazione. Ciò sarà opportuno in particolare per i territori caratterizzati da elevati valori di fondo geochimico per i metalli nocivi, ove si rende necessaria una più accurata selezione delle essenze autoctone, preferendo quelle pioniere capaci di colonizzare le aree fortemente contaminate.

Per quanto riguarda invece i siti di stoccaggio temporaneo o definitivo, questi possono essere considerati al pari delle discariche di rifiuti speciali e seguono le stesse procedure costruttive. Un aspetto che caratterizza queste opere è la realizzazione di sistemi impermeabilizzanti, tanto al fondo quanto sulla superficie delle stesse.

Il rinverdimento, in questi casi, non assume un ruolo di stabilizzazione, ma quasi esclusivamente di mitigazione visiva. Un consistente sviluppo degli apparati radicali, infatti, potrebbe danneggiare i rivestimenti impermeabilizzanti e/o drenanti posti sui rifiuti pericolosi, favorendo un rilascio di contaminati nell'ambiente. A tale scopo sembrerebbe opportuno utilizzare per il rinverdimento esclusivamente specie erbacee perenni dotate di apparati radicali molto estesi ma non lignificati.

Un'altra possibile applicazione dell'IN alle aree di discarica consiste nel rinverdimento delle pareti esterne. Avviene infatti, in molti casi, che per la realizzazione dei siti di stoccaggio vengano realizzati ampi muraglioni, che necessitano di opere di stabilizzazione e rinverdimento sul lato esterno. In queste situazioni si potrà cercare una rapida rivegetazione con specie erbacee o arbustive capaci di stabilizzare la struttura.

G. DUNE COSTIERE

In Sardegna, in particolare, gli interessi turistico-economici manifestano una crescente pressione insediativa e umana sulle risorse ambientali delle aree costiere, dove i sistemi di spiaggia e i complessi dunali rappresentano tra le principali risorse naturalistiche ed economiche per l'elevata attrattività turistico-ricreativa che manifestano. Sui complessi dunali di diversi siti costieri, si manifestano in maniera evidente gli effetti di incidenza dell'uso turistico-ricreativo e della fruizione incontrollata, attraverso diffusi processi di degrado delle formazioni vegetazionali, erosione e smantellamento dei corpi sabbiosi che contribuiscono allo squilibrio sedimentologico del sistema di spiaggia e ad un maggiore rischio di sottrazione della risorsa. Ne deriva la necessità di intervenire attraverso azioni di recupero e di riqualificazione per il consolidamento degli apparati dunali, per la mitigazione dei processi di erosione e la conservazione della diversità vegetale di questo peculiare ambiente costiero, attraverso un approccio multidisciplinare che tenga conto dei processi geomorfologici, sedimentologici e geobotanici (Fig. 5.14).



Fig. 5.14- Sistema dunare della spiaggia di Porto Giunco (Villasimius), interessato da fenomeni di smantellamento dell'avanduna e da frammentazione delle dune a *Juniperus* sp. pl.

La genesi, la struttura e l'evoluzione dei corpi sabbiosi dipende dall'azione di numerosi fattori, talvolta tra loro interdipendenti, come l'assetto geologico-morfologico della costa, i parametri climatici e meteomarinari, con particolare riferimento all'esposizione del paraggio rispetto ai venti dominanti, la conformazione e il funzionamento del sistema idrografico afferente.

Il sistema dunare è articolato in un insieme di corpi sabbiosi che manifestano una differente dinamicità evolutiva e che sono tra loro relazionati i termini funzionali e strutturali: in linea generale possiamo riconoscere le dune mobili, prive di vegetazione in cui le sabbie sono libere di muoversi e spostarsi sotto l'azione del vento, oppure le dune possono essere più o meno stabilizzate, cioè colonizzate da diverse specie erbacee, arbustive ed arboree, che trattengono la sabbia e fissano la duna (Fig. 5.15). Le sabbie rappresentano un contesto ecologico molto particolare, contraddistinto da una flora assolutamente peculiare. Le piante psammofile devono innanzitutto possedere la capacità di crescere su un substrato in continuo movimento e sono perciò

contraddistinte da apparati radicali resistenti, particolarmente estesi in lunghezza e ampiamente ramificati.

Gli apparati radicali aiutano la pianta anche a raggiungere l'acqua in profondità. Infatti, per la scarsa capacità di ritenzione idrica della sabbia, gli strati superficiali si presentano sempre asciutti, ad eccezione dei giorni in cui si verificano piogge o mareggiate. La disponibilità d'acqua per le piante delle spiagge è sempre comunque limitata, per di più le acque disponibili hanno sempre un'elevata concentrazione salina. Per questi motivi sono particolarmente diffusi, nella flora psammofila, gli adattamenti xeromorfici, atti cioè a limitare al massimo la traspirazione o a conservare riserve idriche nei tessuti: riduzione dell'apparato fogliare, sclerificazione di foglie e fusti, crassulenza, ecc.

Uno degli aspetti più importanti di questo contesto è il ruolo essenziale che le piante svolgono nel consolidamento e nel mantenimento delle dune. La perdita della copertura vegetale, infatti, innesca, in questi habitat come in nessun altro, processi di erosione che possono portare rapidamente alla scomparsa della duna stessa.



Fig. 5.15 - Sistema dunare a *Juniperus sp.pl.* e impianti a *Pinus pinea* nella spiaggia di Cala Ginepro (Orosei, NU).

In linea generale, lungo il profilo trasversale di un sistema dunare è possibile riconoscere una seriazione di ambiti morfo-vegetazionali, caratteristici del contesto marino-costiero di riferimento. Le dinamiche geomorfologiche e la componente vegetazionale si differenzia lungo il percorso trasversale dalla linea di riva verso l'interno, in una sequenza che cambia in funzione delle condizioni legate alla dominanza dei processi meteomarinari. In termini generali la differenziazione funzionale tra i diversi ambiti si riflette sulla variabilità dell'assetto floristico-vegetazionale e sui proecessi geomorfologici e sedimentari che si manifestano.

In termini evolutivi e funzionali le dune rappresentano accumuli di materiale detritico intrappolato all'interno dell'unità fisiografica che, altrimenti, verrebbe disperso verso il settore continentale, uscendo dal circuito sedimentario del sistema di spiaggia. In altre parole le dune individuano un serbatoio detritico, un *surplus* sedimentario a disposizione della spiaggia, la cui estensione,

articolazione e seriazione di ambiti geomorfologici e vegetazionali rappresenta un significativo indizio di equilibrio sedimentario del sistema di spiaggia in generale.

Le attività umane, come il passaggio pedonale e veicolare, determinano alterazioni significative dell'assetto morfo-vegetazionale dei corpi dunari, incidendo sull'equilibrio e la stabilità dell'intero sistema di spiaggia emerso e sommerso. Le attività di fruizione dei litorali sabbiosi, la realizzazione di infrastrutture a servizio delle attività turistico-ricreative assumono, in linea di principio, il ruolo di fattori perturbanti esterni, che determinano significative alterazioni dei naturali processi geomorfologici che si esplicano negli ambiti dunari, instaurando processi erosivi, talvolta irreversibili se non si dovessero rimuovere prontamente le cause inducenti. In assenza di azioni di mitigazione dei fattori perturbanti, i processi di degrado dei corpi dunari assumono caratteri di forte criticità in considerazione della irreversibilità dei processi di degenerazione del sistema sabbioso e della intensità progressiva dei processi erosivi.

In linea generale un processo di degrado, erosione e smantellamento delle formazioni dunari determina uno squilibrio sedimentario nel sistema di spiaggia che, in determinate situazioni morfologiche e sedimentarie, si può tradurre in un arretramento della linea di riva e riduzione della spiaggia emersa, oltre che nell'impoverimento complessivo dell'ecosistema sabbioso costiero.

L'obiettivo generale degli interventi di sistemazione dei corpi dunari deve riguardare essenzialmente il ripristino dei naturali equilibri dinamici che regolano l'evoluzione del campo dunare e del sistema di spiaggia, mediante la mitigazione dei processi erosivi eolici connessi con la frequentazione, congiuntamente alla ricostituzione dell'assetto morfo-sedimentologico in relazione ai diversi ordini dunari, oltre che alla rinaturazione vegetazionale in cui sono presenti evidenti situazioni di frammentazione e diradamento della copertura vegetale.

Per quanto attiene l'utilizzo di specie vegetali utili ad interventi di recupero e di salvaguardia in tali contesti si potrà fare riferimento esclusivamente alle specie psammofile, cercando di ricreare in breve tempo comunità il più possibile stabili. Tuttavia, dato che lo sviluppo di queste tipologie vegetazionali avviene di norma in tempi molto lenti, per attuare tali interventi sarà altresì indispensabile adottare misure di protezione delle sabbie, che ne evitino la dispersione ad opera del vento fino al raggiungimento di un sufficiente sviluppo della vegetazione impiantata. Tale funzione protettiva deve essere svolta necessariamente da materiali naturali e facilmente biodegradabili, in quanto saranno essi stessi destinati ad essere dispersi nell'ambiente.

Numerose esperienze di ricostituzione di ambiti dunari in Sardegna hanno tentato di favorire il mantenimento delle sabbie con l'impianto di specie esotiche a rapido accrescimento in considerazione del lento sviluppo di quelle autoctone. Tali esperimenti non sembrano tuttavia aver dato risultati soddisfacenti, in quanto le prime possono affermarsi anche all'esterno dell'area di intervento, ostacolando nel complesso la piena affermazione delle specie indigene.

H. FALESIE COSTIERE

Situazioni di rischio per la fruizione turistica riguardano anche tratti di costa rocciosa a falesia, che spesso si presentano in condizioni di frana (Fig. 5.16).

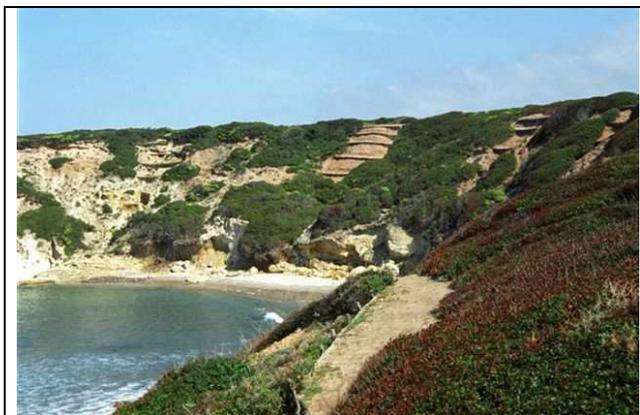


Fig. 5.16 - Zona di frana lungo il litorale di Cuglieri (OR) con interventi di consolidamento e di contrasto all'erosione - Foto A. Marras (Repertorio I.F.F.I.).

Gli interventi noti ad oggi non sono frequenti ma per ragioni legate alla fruizione ed alla sicurezza si ritiene che possano incrementare. Sono stati esaminati gli interventi di *La Farrizza* (Porto Torres), *Punta Li Paddimi* (Castelsardo), *Rena Bianca* (Santa Teresa Gallura), *Las Tronas-El Trò* (Alghero; Fig. 9.1); *Abba Durche* (Cala Gonone-Dorgali).

La vegetazione delle falesie costiere è sottoposta a fattori di stress in parte comuni a quella delle spiagge, come l'elevata salinità e la scarsa disponibilità di umidità edafica. Anche in questi casi è perciò ricorrente lo sviluppo di numerosi adattamenti xeromorfici.

Ben differente tuttavia è la struttura del substrato, costituito in questi casi, spesso, dalla roccia nuda. Per questo la struttura degli apparati radicali delle specie alo-rupicole costiere presenta una struttura differente, risultando più adatti a penetrare nelle fessure tra le rocce che a consolidare i materiali su cui crescono.

Per tali ragioni, e in considerazione del loro lento accrescimento, le specie delle scogliere rivestono un interesse applicativo molto scarso dal punto di vista dell'ingegneria naturalistica. Per il consolidamento di scarpate prossime alla costa e povere di suolo si può invece fare affidamento su specie naturalmente legate a terreni comunque salini, ma con maggiori capacità di sviluppo sia dell'apparato radicale che della parte epigea. Si tratta di specie caratteristiche delle paludi salmastre o salate, capaci di formare coperture dense e uniformi anche su pendii esposti all'influenza dell'aerosol marino.

Si è notato inoltre che in questi ambiti particolari, dove gli interventi sono al momento rari ma tendenti all'incremento, uno degli aspetti più problematici è l'impiego dei mezzi meccanici, in particolare per ciò che concerne possibili conseguenze indesiderate. In alcuni casi si è notato infatti come l'intervento, che parrebbe riuscito in termini strettamente funzionali, abbia comportato

l'apertura di stradelli di accesso per le macchine movimento terra che, a loro volta, hanno generato un incremento di dissesti minori nelle aree in pertinenza (solchi erosivi e perdita di suolo). Ciò pone il problema da un lato della necessità, per giunta consolidata altrove, di ricorrere in determinati contesti soprattutto al lavoro manuale; dall'altro di definire in sede di capitolato le operazioni specifiche a cui limitare l'impiego di meccanizzazione. Medesime attenzioni andrebbero in ogni caso riposte negli interventi sui versanti in generale al fine di scongiurare gli effetti indesiderati del transito delle macchine di movimento terra.

I. ZONE UMIDE E FOCI FLUVIALI

In situazioni naturali sia di aree umide che di foci fluviali il ragionamento è simile al caso A, corsi d'acqua naturali.

In situazioni di foci canalizzate valgono le considerazioni svolte per gli ambiti di corsi d'acqua artificialmente canalizzati e arginati con opere in terra, gabbionate o rivestimenti rigidi in calcestruzzo.

In questi casi spesso ci troviamo in contesti privi di substrato pedologico con scarse possibilità di intervenire con l'IN, tranne limitati tratti non cementificati oppure ove è proponibile la loro demolizione. Le potenzialità delle opere in "verde" sono molto spesso condizionate dalla possibilità di sostituzione delle arginature rigide e dal successivo ampliamento della sezione idraulica. Spesso però le opere rigide sono la conseguenza di tutela e difesa di aree urbanizzate e quindi non permettono interventi specifici di IN. In questi casi si possono proporre interventi di più ampia scala attraverso un processo di progettazione che inserisca le tecniche di IN in un progetto di riqualificazione urbana e di fruizione di aree che possono svolgere un ruolo importante per la difesa dei suoli.

5.5 Analisi sul campo

L'analisi degli interventi effettuati e delle situazioni di possibile applicazione delle tecniche di IN sul territorio regionale è stata condotta su tre livelli:

1. screening di tutte le casistiche osservate, per le quali si riporta il solo elenco insieme alla relativa indicazione sulla carta allegata;
2. situazioni ritenute maggiormente rappresentative dei contesti considerati (a ciascun sito è associata una scheda descrittiva);
3. trattazione estesa dei casi di cui si hanno maggiori informazioni tecniche, ricavate dalla letteratura o dall'esperienza diretta.

Al fine di comprendere in modo esauriente la complessa situazione regionale, il gruppo di lavoro ha effettuato un numero elevato di sopralluoghi sul campo, cercando di identificare tutti i contesti possibili nelle diverse situazioni territoriali e fisico-ambientali.

La selezione dei siti presi in considerazione ha verificato la rispondenza a differenti criteri di rappresentatività e di rilevanza, di seguito descritti:

1. rappresentatività rispetto a condizioni tipologiche particolarmente frequenti nel territorio regionale;
2. rappresentatività rispetto a condizioni tipologiche caratterizzate da una particolare criticità in termini di pericolosità idrogeologica nel territorio regionale;
3. emblematicità rispetto a condizioni tipologiche particolarmente favorevoli rispetto alle opportunità di applicazione delle tecniche dell'IN e alla efficacia di queste ultime;
4. didatticità rispetto alle opportunità di rappresentazione delle modalità operative di utilizzo delle tecniche di IN, anche in riferimento a situazioni di specifica complessità di applicazione;
5. singolarità di particolare rilevanza nel contesto regionale.

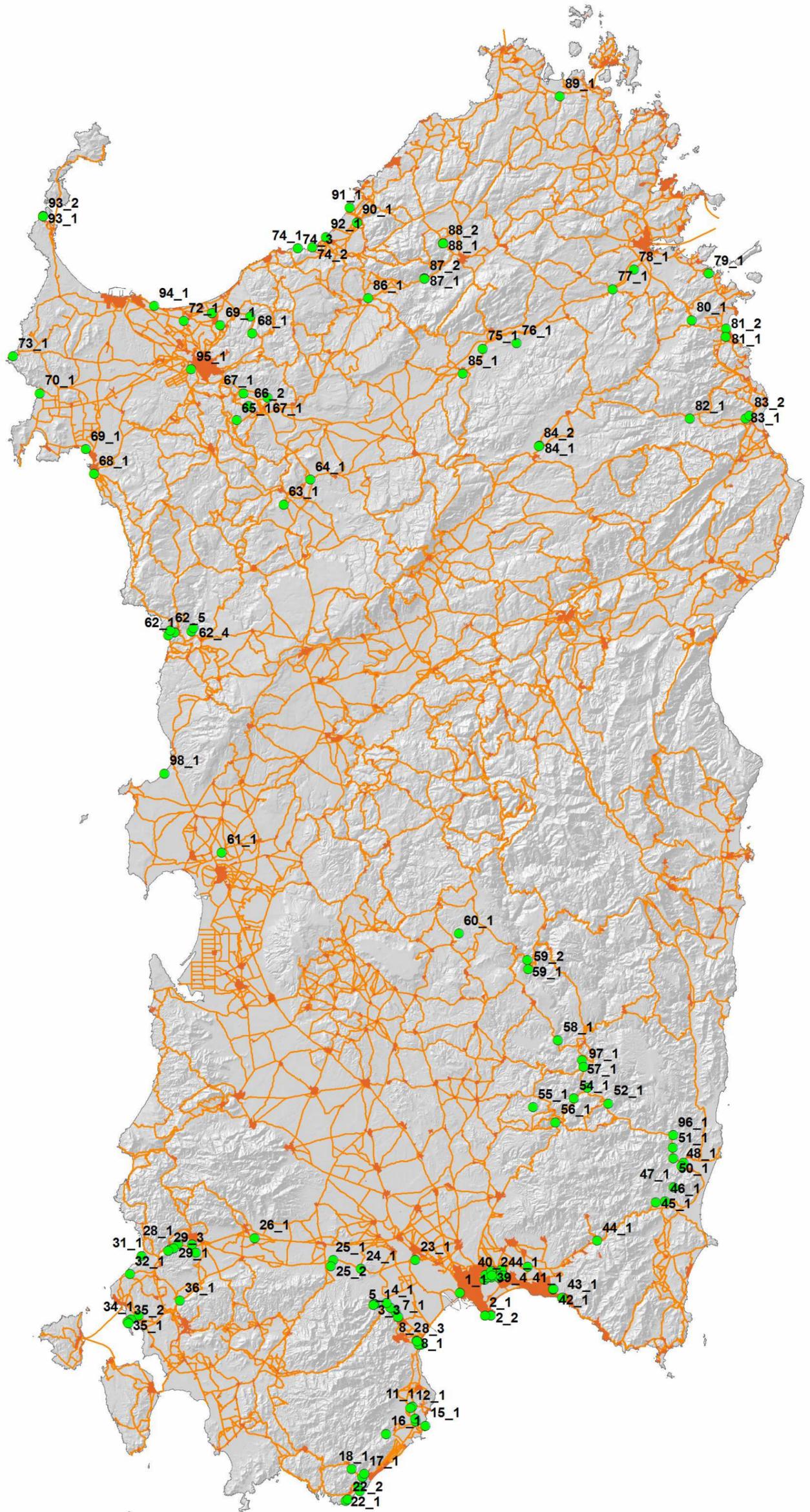
Fra i siti visitati solo alcuni sono stati oggetto di interventi che comprendevano l'utilizzo di tecniche di IN per lo più con finalità sperimentali, mentre nella maggior parte dei casi si tratta di interventi "tradizionali" con tentativi non sempre riusciti di rinverdimento. Un numero significativo di casi interessa siti allo stato naturale o seminaturale soggetti a dinamiche di dissesto di vario tipo dove non sempre gli interventi di IN possono svolgere un'azione efficace di mitigazione del rischio.

La localizzazione dei siti visitati è riportata nella cartografia al prossimo paragrafo.

5.5.1 Localizzazione cartografica dei siti rappresentativi visitati

Vedi figura a pagina seguente.

codice sito	tipo	descrizione tipologia	localita
1_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Laguna Santa Gilla - Cagliari
10_1	L	foci fluviali	Foce Rio S. Gerolamo
11_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio su Molenti - Villa S. Pietro
12_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio Mannu - Villa S. Pietro
13_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio Pula - Pula
14_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio Pula - Pula
15_1	L	foci fluviali	Rio Pula - Pula
16_1	A	corsi d'acqua naturali	Rio Palacenis
17_1	E	scarpate stradali	SR 195
18_1	A	corsi d'acqua naturali	Domus de Maria - Rio Mannu
19_1	A	corsi d'acqua naturali	Rio di Chia
2_1	H	falesie	S. Elia - Cagliari
2_2	H	falesie	S. Elia - Cagliari
22_1	G	dune	Su Giudeu
23_1	F	discariche	Assemini
24_1	F	cave	Assemini
25_2	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio De Sa Casteddu-Siliqua
26_1	E	scarpate stradali	SR 130 Musei
27_1	F	miniere	Genna Luas - Iglesias
28_1	F	miniere	Iglesias - S. Severino
29_1	F	miniere	S. Giovanni - Iglesias
29_2	F	miniere	S. Giovanni - Iglesias
29_3	F	miniere	S. Giovanni - Iglesias
3_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Guttureddu - M.te Arcosu
3_3	A	corsi d'acqua naturali	Riu Guttureddu - M.te Arcosu
30_1	F	miniere	Campo Pisano - Iglesias
31_1	G	dune	Plaghe Mesu - Gonnessa
32_1	F	discariche	Strada Gonnessa - Portoscuso
32_2	E	scarpate stradali	Strada Gonnessa - Portoscuso
33_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	C.le Paringianu
34_1	F	discariche	Portovesme
35_1	G	scogliere artificiali	Corr'e Cerbus
35_2	G	dune e litorali sabbiosi	Corr'e Cerbus
38_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Mortu - Monserrato
38_2	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Mortu - Monserrato
39_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Nou - Selargius
39_3	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Nou - Selargius
39_4	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Nou - Selargius
4_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Santa Lucia - Capoterra
40_2	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Is Cungiaus - Quartucciu
40_3	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Is Cungiaus - Quartucciu
40_4	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Is Cungiaus - Quartucciu
41_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu de Is Ammostus - Maracalagonis
42_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu Sa Pispisa - Flumini di Quartu
42_2	C	bacini artificiali (cava)	Cave Riu Corongiu - Flumini di Quartu
43_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Cuba - Capatana
44_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Quartu S. Elena
45_1	A	corsi d'acqua naturali	S. Piamò - Muravera
46_1	A	corsi d'acqua naturali	S. Piamò - Muravera
47_1	E	scarpate stradali	Galleria SS 125
48_1	E	scarpate stradali	Bivio Villaputzu-nuova SS 125
49_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Flumendosa
49_2	E	scarpate stradali	Valle Flumendosa
50_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Flumendosa
51_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Flumendosa
52_1	E	scarpate stradali	Flumendosa - Armungia
53_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Rio Birtinoi
54_1	E	scarpate stradali	Strada Ballo - S. Nicolo' Gerrei
55_1	E	aree percorse da incendio	S. Basilio
56_1	E	aree percorse da incendio	San Nicolò Gerrei
57_1	E	scarpate stradali	Balio - Escalaplano
58_1	E	scarpate stradali	Escalaplano - Orròli
59_1	C	bacini artificiali	Lago medio Flumendosa
59_2	C	bacini artificiali	Lago medio Flumendosa
6_1	A	corsi d'acqua naturali	Capoterra
60_1	F	miniere	Nurallao
61_1	A	corsi d'acqua naturali	Tirso
62_1	L	foci fluviali	Temo Bosa
62_2	L	foci fluviali	Temo Bosa
62_3	L	foci fluviali	Temo Bosa
62_4	L	foci fluviali	Temo Bosa
62_5	B	canali	Bosa
63_1	F	cave	Cheremule
64_1	E	scarpate stradali	Bivio Bonnannaro
65_1	F	cave	Florinas
66_1	E	scarpate stradali	Florinas
66_2	E	scarpate stradali	Temo - Bosa
67_1	A	corsi d'acqua naturali	Alto Mascari-Codrongianos
68_1	F	cave	San Lorenzo - Osilo
69_1	B	canali	Sennori - Sorso
7_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Capoterra-nuova canalizzazione
70_1	A	corsi d'acqua naturali	Loc. Pedrugiano - Sorso SS
71_1	A	corsi d'acqua naturali	F. Sili Sennori
72_1	E	scarpate stradali	Budi Budi - presso SS
73_1	F	miniere	Argentiera - Sassari
74_1	H	falesie	P.ta Campulandro
74_2	H	falesie	La Ciaccia - Valledona
74_3	H	falesie	P.ta Campulandro
75_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Mannu - Berchidda
76_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Mannu - Berchidda
77_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Palasole - Olbia
78_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Enas - Olbia
79_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Lori-Porto San Paolo
8_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Capoterra
8_2	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Capoterra
8_3	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu S. Gerolamo - Capoterra
80_1	E	scarpate stradali	Loc. Oviù - Lori-Porto San Paolo
81_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu San Teodoro - San Teodoro
81_2	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Riu San Teodoro - San Teodoro
82_1	E	scarpate stradali	Loc. Oviù - Lori-Porto San Paolo
83_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Posada - Torpè
83_2	A	corsi d'acqua naturali	Posada
84_1	A	corsi d'acqua naturali	Budduso
84_2	A	corsi d'acqua naturali	Budduso
85_1	E	scarpate stradali	Oschiri
86_1	B	canali	Perfugas
87_1	E	scarpate stradali	SR 672 variante presso Tempio
87_2	E	scarpate stradali	SR 672 variante presso Tempio
88_1	D	versanti	Aggus
88_2	D	versanti	Aggus
89_1	A	corsi d'acqua naturali	Liscia - Ponte Liscia
9_1	B	corsi d'acqua canalizzati/arginati	Basso corso Rio S. Gerolamo
90_1	B	canali	Badesi
91_1	G	dune	Badesi Mare
92_1	G	dune	Foce Coghinis
93_1	G	dune	Stintino
93_2	G	dune	Stintino
94_1	H	falesie	P.to Torres
95_1	B	canali	Sassari
96_1	E	scarpate stradali	Valle Flumendosa
97_1	E	scarpate stradali	Strada Ballo - Escalaplano
98_1	G	dune	Is Arenas-Narbolia, Oristano



5.6 Screening e selezione dei siti rappresentativi

5.6.1 Premessa

Dato che obiettivo delle linee guida è quello di presentare indirizzi corrispondenti a ciascuna tipologia applicativa omogenea, si è ritenuto opportuno individuare, per ciascun contesto, situazioni maggiormente rappresentative (dal punto di vista della potenzialità applicativa dell'IN) da cui partire per un'analisi di dettaglio.

Nella Figura della pagina precedente è rappresentata la localizzazione sul territorio regionale di tutti i siti considerati; La seguente tabella, riporta l'elenco completo di tali siti, con il relativo codice, la tipologia di contesto rappresentata e il nome della località.

Sui siti considerati particolarmente rappresentativi sono state approfondite le conoscenze ed è stata quindi prodotta, per ciascuno di essi, una scheda di caratterizzazione.

5.6.2 Elenco dei siti rappresentativi visitati

codice sito	tipo	Descrizione tipologia	località	aspetti di interesse
2_2	H	falesie	S.Elia - Cagliari	potenzialità di intervento su versanti instabili su detrito
10_1	L	foci fluviali	Foce Riu S.Gerolamo	valutabili opportunità di intervento per rifacimento rivestimenti cementizi
16_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Palaceris	esempio di rifacimento integrale dell'alveo
17_1	E	scarpate stradali	SR 195	potenzialità di riqualificazione rapporto problematico tra vegetazione e utilizzo reti
18_1	A	corsi d'acqua naturali	Domus de Maria- Riu Mannu	potenzialità di riconversione o riqualificazione spondale
22_1	G	dune	Su Giudeu	opportunità di verifica e monitoraggio di precedenti esperienze di riqualificazione dunare
22_1	G	dune	Su Giudeu	opportunità di verifica e monitoraggio di precedenti esperienze di riqualificazione dunare
23_1	F	discariche	Assemini	ricolonizzazione vegetale versanti discarica
24_1	F	cave	Assemini	potenzialità di recupero versanti di cava
26_1	E	scarpate stradali	SR 130 Musei	verifica esempi di evoluzione spontanea
26_1	E	scarpate stradali	SR 130 Musei	potenzialità di recupero versanti in erosione
27_1	F	miniere	Genna Luas - Iglesias	esperienze di rinverdimento versanti discarica
29_1	F	miniere	S.Giovanni - Iglesias	sperimentazioni tecniche consolidamento & rinverdimento su depositi minerari
29_2	F	miniere	S.Giovanni - Iglesias	sperimentazioni tecniche consolidamento & rinverdimento su depositi minerari
3_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Gutturreddu - M.te Arcosu	opportunità di verifica e monitoraggio di precedenti esperienze di sistemazione dell'alveo
31_1	G	dune	Plagh'e Mesu - Gonnosa	sistemazione - bonifica forestale su dune parzialmente riuscita
35_1		scogliere artificiali	Corr'e Cerbus	potenzialità di riconversione o riqualificazione
46_1	A	corsi d'acqua naturali	S.Priamo -Muravera	potenzialità di intervento su fenomeni di erosione delle difese idrauliche
62_2	L	foci fluviali	Temo Bosa	effetto navigazione mitigabile
63_1	F	cave	Cheremule	potenzialità di recupero anche su pendenze significative (attuale presenza di specie esotiche)
64_1	E	scarpate stradali	Bonnanaro	potenzialità di riqualificazione rapporto problematico tra vegetazione e utilizzo reti
65_1	F	cave	Florinas	possibilità di intervento su gradoni

codice sito	tipo	Descrizione tipologia	località	aspetti di interesse
66_1	E	scarpate stradali	Florinas	possibilità di intervento con rimodellazione e rinverdimento
67_1	A	corsi d'acqua naturali	Alto Mascari-Codrongianos	potenzialità di riconversione precedenti interventi per disponibilità di spazio
68_1	F	cave	San Lorenzo - Osilo	potenzialità di intervento su versanti di cava
69_1	B	canali	Sennori - Sorso	potenzialità di riconversione precedenti interventi per disponibilità di spazio
69_1	G	dune	Alghero	potenzialità di intervento su dune
70_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Padrugnanu - Sorso	potenzialità di recupero idraulico e degrado paesaggistico-ambientale
71_1	A	corsi d'acqua naturali	F.Silis Sennori	potenzialità di recupero per spazio disponibile
71_1	A	corsi d'acqua naturali	F.Silis Sennori	esigenza di intervento per recupero vegetazione infestante
71_1	A	corsi d'acqua naturali	F.Silis Sennori	esigenza di intervento per recupero rinverdimento
73_1	F	miniere	Argentiera - Sassari	potenzialità di intervento in area mineraria
74_1	H	falesie	Pressi Punta Campulandru - Castelsardo	potenzialità di intervento su falesia
74_2	H	falesie	La Ciaccia - Valledoria	potenzialità di intervento su falesia
75_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Mannu - Berchidda	potenzialità di intervento per recupero erosione spondale
79_1	B	corsi d'acqua canalizzati o arginati	Loiri-Porto San Paolo	potenzialità di riconversione o riqualificazione grazie a disponibilità di spazio
81_1	B	corsi d'acqua canalizzati o arginati	Riu San Teodoro - San Teodoro	potenzialità di intervento su divise aride
81_2	B	corsi d'acqua canalizzati o arginati	Riu San Teodoro - San Teodoro	presenza di urbanizzazione a ridosso di fascia riparia
82_1	E	scarpate stradali	Loc. Ovilò - Loiri-Porto San Paolo	potenzialità di intervento su gradoni su roccia
83_1	A	corsi d'acqua naturali	Riu Posada - Torpè	potenzialità di riqualificazione e di compensazione erosione e taglio a raso
87_2	E	scarpate stradali	SR 672 variante presso Tempio	presenza di georeti aride
88_1	D	versanti	Aggius	presenza di fenomeni di erosione presso l'abitato
88_2	D	versanti	Aggius	presenza di fenomeni di erosione presso l'abitato
89_1	A	corsi d'acqua naturali	Liscia - Ponte Liscia	potenzialità di intervento per compensazione erosione
9_1	B	corsi d'acqua canalizzati o arginati	Basso corso Riu S.Gerolamo	valutabili opportunità di intervento per rifacimento rivestimenti cementizi
95_1	B	canali	Sassari	potenzialità di intervento di riqualificazione grazie a disponibilità di spazi
99_1	D	versanti e costoni rocciosi	SS 125, Km 29 - Sinnai	Versante in erosione
100_1	E	viabilità e scarpate stradali	Periferia di Sanluri - Sanluri	Scarpate stradali in corrispondenza di svincolo

5.6.3 Schede di caratterizzazione dei siti (ALLEGATO 2)

L'allegato 2 è composto dalle schede compilate per i siti scelti come particolarmente significativi agli effetti della problematica e dell'applicabilità delle tecniche di IN.

Si riporta di seguito la scheda tipo soggetta a compilazione.

SCHEDA CARATTERIZZAZIONE SITO											
TIPOLOGIA SITO							Codice sito				
Data		Rilevatore/i									
DATI STAZIONALI											
LOCALITA'											
Comune						Provincia					
Rif. Carta (F./Sez.)		CTR		IGM		Altitudine (mslm)					
Coordinate Gauss-Boaga			X				Y				
Bacino idrografico/paraggio costiero			Nome					cod			
DESCRIZIONE DEL SITO											
altezza (m)		lunghezza (m)					superficie (mq)				
inclinazione (°)					esposizione/settore di traversia						
QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO E PROGRAMMATICO											
STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE											
VINCOLI											
AREA PROTETTA/SITI NATURA 2000											
INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO-AMBIENTALE											
CONTESTO FISIOGRAFICO											
SUBSTRATO		form. geologica					età				
		Descrizione litologia e litotecnica									
		Aspetti edafici		sp. organico (cm)				sp. detritico (cm)			
				granulometria							
		Note pedologia									
BIOCLIMA											
GEOBOTANICA		inq. biogeografico									
		serie di vegetazione									
		tipi vegetazionali									
		elenco specie strutturali									
vegetazione aree adiacenti											

USO DEL SUOLO	
ATTIVITA' SOCIO-ECONOMICHE	
NOTE/COMMENTI	
Bibliografia	
Foto, disegni	
inserire commento	
inserire commento	
Estratto foto aerea	

INTERVENTI ESISTENTI						
	si	descrizione:				
		materiali utilizzati inerti:				
		specie vegetali utilizzate:				
	no					
Note/Commenti						
DISSESTO IDROGEOLOGICO						
tipo di dissesto						
pericolosità e rischio idrogeologici	PAI Piene		classe pericolosità		classe rischio	
	PAI Frane		classe pericolosità		classe rischio	
	IFFI		areale		puntuale	
	Rilevati in campo					
ALTRE PROBLEMATICHE						
degrado dell'ecosistema						
degrado della copertura vegetale						
impatto visivo						
pressione antropica						
perdita di fruibilità						
FATTORI DI QUALITA'						
ecosistema						
copertura vegetale						
qualità visiva						
fruibilità						
POTENZIALI INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA						
codici tecniche						

6 Applicazione dell'ingegneria naturalistica: linee guida tecniche

6.1 Le specie vegetali

6.1.1 Premessa

Uno dei ruoli principali stabiliti per queste linee guida è quello di presentare un elenco delle specie vegetali potenzialmente adatte alla funzionalità biotecnica delle tecniche di IN scelte, in funzione delle diverse situazioni riscontrate (tipologia di dissesto e contesto territoriale-ambientale).

In generale, la scelta delle specie vegetali da impiegare nelle opere di IN deriva dall'incrocio fra analisi ambientale dei contesti interessati (criterio ecosistemico), condizioni climatiche e di presenza e trattenimento idrico nel sottosuolo, resistenza meccanica richiesta (criterio biotecnico), compatibilità idraulica, compatibilità funzionale rispetto agli usi antropici attigui, stato ambientale da perseguire, disponibilità e costo del materiale vegetale stesso, esigenze di manutenzione.

Per la scelta delle specie vegetali da utilizzare in un intervento di IN non esistono criteri validi per tutti i campi di applicazione e per tutti i contesti ambientali. L'unica regola che deve sempre essere osservata è quella che impone di selezionare solo di specie ecologicamente e geneticamente compatibili con il sito di intervento, perché le stesse possano trovare condizioni favorevoli per svilupparsi e affermarsi in modo duraturo, senza causare danni derivanti da possibili ibridazioni o inquinamento genetico.

Vale la pena ricordare che l'aspetto fondamentale dell'IN, rispetto all'approccio tradizionale, è il ruolo svolto dai materiali vegetali nello stabilizzare le opere realizzate. Come logica conseguenza, un progetto di IN raggiunge la sua piena realizzazione solo quando lo sviluppo delle piante è progredito sufficientemente per svolgere appieno tale azione di consolidamento. Le difficoltà di applicazione di queste tecniche in ambito mediterraneo derivano proprio dal fatto che, nelle situazioni di maggiore aridità, le piante con le migliori capacità di stabilizzazione di versanti e scarpate presentano un accrescimento lento, spesso incompatibile con le suddette esigenze. Operando quindi negli ambiti più xerici si dovrà necessariamente ricorrere a specie erbacee o a piccoli arbusti, con apparati radicali e chiome meno sviluppati rispetto alle essenze arboree, ma capaci comunque di contenere efficacemente grandi volumi di terreno.

Il contesto degli alvei fluviali pone limitazioni meno severe all'utilizzo delle tecniche di IN, proprio perché la maggiore disponibilità d'acqua e la conseguente compensazione edafica,

permettono di progettare l'impianto di alberi e arbusti di notevoli dimensioni e talvolta anche a foglie caduche. Ancora una volta, tuttavia, si devono sottolineare importanti differenze tra l'ambito climatico mediterraneo e quello temperato, dove le tradizionali tecniche di IN sono applicate con successo da decenni. Nel primo, infatti, il regime prevalentemente torrentizio dei corsi d'acqua può creare un'alternanza di periodi umidi e secchi anche prolungati, potenzialmente pericolosa per la sopravvivenza delle piante, soprattutto qualora queste ultime non vengano correttamente selezionate in funzione della microtopografia dell'alveo.

Un secondo criterio che deve essere seguito nella scelta delle specie è la loro appartenenza alle formazioni vegetali spontanee nell'ambito del territorio d'intervento. Il risultato finale dell'opera di IN deve, infatti, consistere nella riproduzione di una fitocenosi correttamente inserita nel contesto ambientale che, attraverso i naturali processi di evoluzione, darà origine ad una delle tappe della serie di vegetazione che insiste sull'area di intervento. In tal modo, alla funzionalità tecnica si unisce una perfetta integrazione ecologico-paesaggistica del progetto. A tale scopo risulta necessario l'esclusivo utilizzo di specie autoctone con genotipi compatibili.

Una eccezione a tali criteri può essere fatta in quei contesti di scarsa naturalità dove si possono preferire piante autoctone estranee al contesto geobotanico, qualora queste presentino maggiori garanzie per il successo degli interventi. Un esempio valido per il territorio sardo è quello di *Spartium junceum*, archeofita che viene spesso utilizzata per il rinverdimento delle scarpate stradali, in quanto unisce ottime capacità di affermazione su terreni poveri ad una particolare azione di contenimento dell'erosione (Fig. 6.1). Per quanto riguarda le specie erbacee, si può citare un'altra archeofita, *Medicago sativa*, che trova ampia utilizzazione grazie al notevole sviluppo dell'apparato radicale.

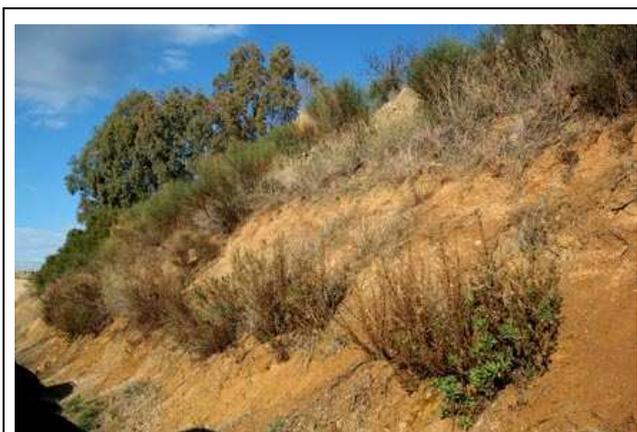


Fig. 6.1 -Colonizzazione naturale di scarpata stradale da parte di *Dittrichia viscosa* (in primo piano) e *Spartium junceum* (più in alto) – Foto M. Casti

Nel proporre tali esempi si ritiene necessario ribadire che l'utilizzo di tali specie deve essere sempre sottoposto a due condizioni: la prima è che si operi in contesti fortemente antropizzati (periferie urbane, aree agricole, etc.), dove l'introduzione di queste specie non possa creare

alcuna alterazione o contaminazione di ecosistemi naturali; la seconda è che le specie siano già ben conosciute per quanto riguarda il loro comportamento ecologico e la loro eventuale capacità invasiva nei territori sardi. Non si deve, infatti, in nessun caso, proporre l'utilizzo di piante alloctone mai testate nell'Isola.

Al di là dei principi sopra enunciati, la scelta delle specie vegetali potrà tenere conto di priorità di volta in volta differenti, a seconda del contesto in cui si opera, secondo il prevalere di esigenze di stabilità, di recupero ambientale, di attitudine per la fauna, di funzionalità fluviale, di miglioramento estetico, etc.

Oltre ai criteri di natura ecologica, pratica e gestionale, la scelta delle specie da utilizzare negli interventi di IN deve sposarsi con la normativa attualmente vigente in ambito comunitario, nazionale e regionale. In particolare, sulla base della Direttiva 1999/105/CE, recepita in ambito nazionale attraverso il D.Lgs. n. 386 del 2003, per quanto concerne la commercializzazione dei materiali forestali di moltiplicazione è necessario che *“gli Stati membri stabiliscano un elenco delle regioni di provenienza che precisi l'origine dei materiali di base”* e che *“la demarcazione delle regioni di provenienza sia indicata dagli Stati membri tramite la redazione e pubblicazione di apposite mappe”*. Sulla base di tale normativa, in ambito regionale è stato redatto ed approvato il Piano Forestale ed Ambientale Regionale (PFAR), che individua i distretti forestali per poter definire le regioni di provenienza e le liste di specie utilizzabili per ciascuno degli stessi.

Come accennato in precedenza, le specie comunemente utilizzate nei paesi dove l'IN si è affermata da decenni, anche qualora si ritrovino spontaneamente in Sardegna, sono scarsamente impiegabili nell'Isola. Questa, tuttavia, proprio in virtù del suo clima e delle morfologie che ne derivano, possiede un ricco contingente floristico di specie fruticose ed erbacee perenni con carattere pioniero, idonee ad insediarsi su suoli poveri e degradati, esercitando un ruolo estremamente importante nel contenere i fenomeni erosivi. Anche per gli ambienti fluviali si potrà fare riferimento al ricco contingente di specie endemiche igrofile che caratterizzano la flora sarda.

Di seguito verranno presentati brevi elenchi, semplicemente indicativi, di specie vegetali idonee ai differenti contesti di intervento, precisando che, qualunque sia l'ambito considerato, la scelta dovrà essere fatta in funzione di un corretto inquadramento territoriale sotto i seguenti aspetti: litologia, idrologia, climatologia, bioclimatologia e biogeografia. Solo attraverso la conoscenza di tutti i fattori ambientali e delle serie di vegetazione sarà infatti, possibile effettuare una scelta corretta delle specie idonee. I *taxa* di seguito citati non si presentano quindi adeguati a tutto il territorio sardo, ma andranno ulteriormente selezionati sulla base delle caratteristiche ecologiche dell'area di intervento.

6.1.2 Le specie vegetali potenzialmente applicabili nei diversi contesti

A. CORSI D'ACQUA NATURALI

I corsi d'acqua naturali sono generalmente sottoposti a opere di regimazione per prevenire possibili effetti distruttivi sulle aree abitate. In Sardegna si opera quindi, molto spesso, nei tratti terminali dei corsi d'acqua, dove le sponde sono formate da sedimenti alluvionali recenti e facilmente erodibili dalla forza delle acque, specie nel corso dei periodi di piena. In questi contesti, pertanto, la funzione statica è spesso demandata ai materiali inerti che compongono la struttura e solo in minima parte il consolidamento dell'opera è affidata alle piante.

Tali esigenze di "contenimento" si presentano, come osservato nei precedenti capitoli, in quanto i progetti realizzati in ambito fluviale non sono sempre finalizzati a ricreare habitat "naturali", poiché esigenze di sicurezza per le aree residenziali hanno spesso orientato le scelte progettuali verso la modifica della sezione dell'alveo. Nell'ipotizzare la realizzazione di futuri interventi di regimazione, sarebbe tuttavia auspicabile che i progettisti tenessero in maggiore considerazione l'ampiezza naturale degli alvei fluviali, in quanto gli interventi attuati in passato hanno spesso dato origine a problemi ben più gravi rispetto al già negativo cedimento della struttura.

Partendo quindi dal presupposto che negli interventi di regimazione si dovrebbe ricostruire la geoserie naturale senza immotivati restringimenti del letto fluviale, le specie generalmente utilizzabili possono essere suddivise secondo tre distinte funzioni:

- nei letti fluviali ciottolosi, o ai margini degli stessi (Fig. 6.2), possono essere impiantate specie legnose arbustive, che con i loro rami flessibili e resistenti alla forza delle correnti (nei periodi di parziale sommersione) possono svolgere una adeguata azione di difesa alla base degli argini. Si possono citare a tale scopo: *Erica terminalis*, *Laurus nobilis*, *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Nerium oleander* subsp. *oleander*, *Salix purpurea* subsp. *purpurea*, *Tamarix africana*, *T. canariensis*, *T. gallica*, *T. tetragyna*, *Vitex agnus-castus*;



Fig. 6.2 - Gariga del *Polygono-Helichrysetum tyrrhenici* su materassi alluvionali (Gutturu Mannu, Assemini, CA) – Foto G. Bacchetta

- sulle scarpate che delimitano l'alveo si potranno altresì inserire specie arbustive ed arboree quali *Alnus glutinosa*, *Celtis australis*, *Ficus carica*, *Salix atro cinerea* e *S. arrigonii*; a queste sarà tuttavia opportuno associare specie meso-igrofile di minori dimensioni, che permettano un rapido rinverdimento della sponda e una conseguente stabilizzazione della stessa: *Carex microcarpa*, *C. panormitana*, *C. pendula*, *Cornus sanguinea*, *Dorycnium rectum*, *Juncus acutus* subsp. *acutus*, *Polygonum scoparium*, *Rosa canina*, *R. sempervirens*, *Rubus ulmifolius*, *Sambucus nigra*;
- sulle parti rilevate delle sponde, sempre in condizioni di superficialità della falda o di compensazione edafica, un ulteriore consolidamento della struttura potrà essere svolto da specie arboree tipiche dei boschi edafoigrofilo e planiziali: *Populus alba*, *P. nigra*, *Salix alba*, *Ulmus minor*, *Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa*.

B. CORSI D'ACQUA CANALIZZATI O ARGINATI

In questi contesti, come già anticipato nel capitolo 5, esistono pochi spazi per l'introduzione di essenze vegetali. Ciò avviene perché le opere di canalizzazione e cementificazione sono spesso caratterizzate da un forzato restringimento dell'alveo, che, qualora venisse occupato dalla vegetazione, metterebbe a serio rischio la funzionalità dell'opera stessa.

Al di là di tale limitazione, per questi ambiti è possibile riproporre lo stesso elenco di specie vegetali utilizzabili lungo i corsi d'acqua naturali. Se infatti si considerano le tre principali finalità delle opere in questi contesti citate nel capitolo 5, si dovrebbe prevedere che, in ognuno dei tre casi menzionati, l'impianto sia preceduto da un rimodellamento dell'argine che ricostruisca una morfologia a maggiore naturalità. Tale sistemazione potrebbe permettere una pianificazione del rinverdimento analoga a quella tipica degli ambiti non artificializzati.

C. BACINI ARTIFICIALI E CANALI DI BONIFICA

La situazione è sostanzialmente analoga al caso precedente.

D. VERSANTI E COSTONI ROCCIOSI SU ABITATI

Si tratta indubbiamente di un contesto del tutto peculiare, dove le esigenze estetiche e di rinaturazione divengono secondarie rispetto a quelle della sicurezza delle persone e dei manufatti. Gli interventi devono essere finalizzati prioritariamente alla stabilizzazione dei versanti e richiedono pertanto l'impianto di specie con apparati radicali legnosi, particolarmente estesi

e resistenti. In queste situazioni l'utilizzo di essenze arboree deve essere tuttavia evitato, sia per il più lento accrescimento di queste rispetto agli arbusti, sia per il rischio che, su pendii esposti a forti venti, la forza dello spostamento d'aria sulla chioma possa provocare lo sradicamento della pianta o, comunque, seri danni all'apparato radicale.

Tra le specie legnose si potranno scegliere, caso per caso, quelle più idonee al clima e alla litologia del sito, preferendo possibilmente specie formanti arbusti compatti che tendono ad estendersi principalmente in superficie e, solo secondariamente, in altezza. Si possono citare a tale scopo: *Anagyris foetida*, *Calicotome spinosa* e *C. villosa*, *Cytisus villosus*, *Cistus albidus*, *C. creticus* subsp. *eriocephalus*, *C. monspeliensis*, *C. salviifolius*, *Euphorbia dendroides*, *Fraxinus ornus*, *Juniperus oxycedrus*, *J. phoenicea* subsp. *turbinata*, *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia* e *P. media*, *Rhamnus alaternus*. Un ruolo importante su pendii soggetti a sfaldamento e a parziali distacchi può essere inoltre svolto da specie glareicole o ruderali come: *Artemisia arborescens*, *A. variabilis*, *Atriplex halimus*, *Bituminaria bituminosa* e *B. morisiana*, *Dittrichia viscosa*, *Helichrysum tyrrhenicum*, *Lavandula stoechas*, *Phagnalon rupestre* e *P. saxatile*.

E. VIABILITA' E SCARPATE STRADALI

Quello relativo alla viabilità risulta uno dei contesti più eterogenei, sia per le tecniche che è possibile adottare negli interventi, sia per le finalità degli stessi. Ci si può infatti ritrovare in situazioni di pendii più o meno stabili, dove l'esigenza di rinverdimento è prioritariamente estetica, oppure in situazioni ad elevata acclività e franosità, dove risulta invece indispensabile un'opera di efficace consolidamento. Anche gli ambiti ecologici possono essere i più vari, proprio perché strade e ferrovie attraversano qualsiasi tipologia di ambiente, da quelli a più elevata naturalità a quelli maggiormente degradati.

Negli ultimi anni, in Sardegna, si sta provvedendo a sistemare con interventi di IN le scarpate dei principali assi stradali in via di ammodernamento, utilizzando generalmente supporti antiersivi biodegradabili. Alla posa dei materiali spesso non fanno seguito interventi di semina e idrosemina. In altri casi si è potuto assistere a tentativi di inerbimento scarsamente efficaci, in quanto sono state utilizzate prevalentemente erbe annuali, che difficilmente sono riuscite a portare a termine il proprio ciclo biologico e a produrre semi vitali per la germinazione nell'anno successivo.

L'analisi dei processi naturali di colonizzazione sulle scarpate ad elevata acclività, dimostra come, anche in presenza di un substrato roccioso, sia possibile un insediamento di erbe perenni e camefite già nei primi anni (Fig. 6.3), seguito da un lento sviluppo delle essenze arbustive sempreverdi. Un adeguato riporto di terreno di coltivo su queste superfici e la posa di biostuoie o geostuoie possono consentire in questi contesti un immediato sviluppo di erbe perenni e di

alcune camefite, che possono essere introdotte tramite idrosemina. Contemporaneamente, la piantagione di arbusti inseriti come piante vive in pane di terra o fitocella, potrà innescare il successivo passaggio verso la costituzione di una copertura vegetale più evoluta.



Fig. 6.3 - Sistemazione della scarpata di un rilevato stradale con piantagione di *Hyparrhenia hirta* (S.S. 131, bivio di Sestu) – Foto M. Casti

Tra le erbe perenni e le camefite si possono indicare: *Artemisia arborescens*, *Bituminaria bituminosa*, *Dactylis hispanica* e *D. glomerata*, *Daucus carota*, *Dianthus sardous*, *Dittrichia viscosa*, *Foeniculum vulgare*, *Helichrysum microphyllum* subsp. *tyrrhenicum*, *Lobularia maritima*, *Phagnalon rupestre* e *P. saxatile*, *Piptatherum miliaceum* subsp. *miliaceum*, *Ptilostemon casabonae*, *Rumex scutatus* subsp. *glaucescens*, *Sanguisorba minor* subsp. *minor* e *S. minor* subsp. *muricata*.

Miscele di sementi contenenti le suddette specie possono essere opportunamente integrate con leguminose erbacee (es. *Sulla coronaria*, *Lotus* sp. pl., *Medicago* sp. pl., *Tetragonolobus purpureus* etc.). Tali specie, malgrado il loro ruolo limitato nella stabilizzazione dei versanti, e seppur destinate ad essere presto sostituite da essenze più adatte ai substrati scheletrici, possono contribuire nel primo periodo di affermazione della copertura vegetale all'arricchimento del terreno, tramite il processo di fissazione dell'azoto.

Tra le fanerofite si potranno scegliere, a seconda del contesto ecologico, dell'acclività e dello spessore di suolo utile: *Anagyris foetida*, *Calicotome spinosa* e *C. villosa*, *Cistus albidus*, *C. creticus* subsp. *eriocephalus*, *C. monspeliensis*, *C. salviifolius*, *Cytisus villosus*, *Erica arborea* e *E. scoparia*, *Euphorbia dendroides*, *Fraxinus ornus*, *Juniperus oxycedrus*, *J. phoenicea* subsp. *turbinata*, *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Phillyrea angustifolia* e *P. media*, *Pistacia lentiscus*, *Prunus spinosa*, *Pyrus spinosa*, *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. virgiliana*, *Rhamnus alaternus*, *Rosa canina* e *R. sempervirens*, *Teline monspessulana*, etc.

F. MINIERE, CAVE E DISCARICHE

Per le aree di cava, gli interventi devono essere mirati soprattutto alla prevenzione di crolli o frane nelle aree in cui la cessazione delle attività non sia stata seguita da una adeguata messa in sicurezza.

Nella stabilizzazione dei versanti, così come dei cumuli di detriti, l'obiettivo sarà quello di creare una copertura densa e compatta, preferibilmente arbustiva, la cui azione di contenimento dei materiali si unisca a quella di miglioramento estetico come, dopo un tempo più o meno lungo, avviene anche in mancanza di interventi specifici (fig. 6.4). Tuttavia, dati i lunghi tempi necessari per lo sviluppo delle fanerofite, in una prima fase si dovrebbe creare una copertura uniforme con erbe perenni e camefite. Sarà dunque opportuno effettuare, sin dal primo impianto, la messa a dimora di specie arbustive prodotte in vaso o in fitocella, insieme alla semina o idrosemina di specie meno esigenti che formeranno una prima copertura che sarà poi gradualmente sostituita dal popolamento arbustivo.

Tra le fanerofite si potranno utilizzare: *Anagyris foetida*, *Arbutus unedo*, *Calicotome spinosa* e *C. villosa*, *Cytisus villosus*, *Cistus albidus*, *C. creticus* subsp. *eriocephalus*, *C. monspeliensis*, *C. salviifolius*, *Erica arborea* e *E. scoparia*, *Euphorbia dendroides*, *Fraxinus ornus*, *Myrtus communis* subsp. *communis*, *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Phillyrea angustifolia* e *P. media*, *Pyrus spinosa*, *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. virgiliana*, *Rhamnus alaternus*, *Teline monspessulana*, etc.



Fig. 6.4 - Parziale stabilizzazione di discarica mineraria ad opera di *Piptatherum miliaceum* subsp. *miliaceum* – Foto M. Casti

La semina potrà essere effettuata con: *Artemisia arborescens*, *Bituminaria bituminosa*, *Dactylis hispanica* e *D. glomerata*, *Daucus carota*, *Dittrichia viscosa*, *Foeniculum vulgare*, *Helichrysum microphyllum* subsp. *tyrrhenicum*, *Lavandula stoechas*, *Lobularia maritima*, *Phagnalon rupestre* e *P. saxatile*, *Piptatherum miliaceum* subsp. *miliaceum*, *Ptilostemon casabonae*, *Rumex scutatus*

subsp. *glaucescens*, *Sanguisorba minor* subsp. *minor* e *S. minor* subsp. *muricata*, *Sinapis alba*, etc.

Un approccio differente deve essere impostato qualora si debba rinverdire una discarica di rifiuti pericolosi (di origine industriale, estrattiva o di altro tipo) sui quali sia stato predisposto un rivestimento isolante e impermeabilizzante. In queste situazioni si potrà fare uso sia di specie erbacee che di camefite, che potranno essere introdotte in parte come piante vive e in parte mediante semina o idrosemina. Mentre in quest'ultimo caso si potranno utilizzare le stesse specie indicate sopra per le aree di cava, per quanto riguarda le specie da mettere a dimora come piante vive si potranno utilizzare: *E. pithyusa* subsp. *cupanii*, *Helichrysum microphyllum* subsp. *tyrrhenicum*, *Hyparrhenia hirta*, *Scrophularia canina* subsp. *bicolor*, *Teucrium capitatum*, *Teucrium flavum* subsp. *glaucum*, *Teucrium marum*, *Teucrium massiliense*, etc.

G. DUNE E LITORALI SABBIOSI

In questi ambiti l'intervento sarà sempre finalizzato al consolidamento e trattenimento delle sabbie. Si dovranno impiegare esclusivamente specie psammofile perenni. Sull'avanduna e sulle dune embrionali si potranno utilizzare emicriptofite, geofite e camefite quali: *Ammophila arenaria*, *Armeria pungens*, *Crucianella maritima*, *Ephedra distachya*, *Elymus farctus*, *Medicago maritima*, *Otanthus maritimus*, *Pancratium maritimum*, , etc.

Sulle dune fisse, per la ricreazione delle boscaglie, si dovranno utilizzare prevalentemente *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* e *J. phoenicea* subsp. *turbinata*, secondariamente altre specie caratteristiche dell'ordine *Quercetalia calliprini*, come *Halimium halimifolium*, *Phillyrea rodriguezii*, *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Quercus calliprinos*, *Rhamnus alaternus*.

H. FALESIE COSTIERE

Le falesie costiere, presenti in molti tratti del litorale sardo, sono generalmente dei sistemi soggetti a processi erosivi naturali, operati in primo luogo dalla forza del mare e dei venti. Malgrado l'integrità ambientale di questi ambiti, si richiede spesso l'esecuzione di interventi di contenimento del fenomeno erosivo e la prevenzione di eventuali crolli, pericolosi per i bagnanti o i pescatori che dovessero trovarsi sul tratto di mare sottostante.

Va tuttavia rilevato come, proprio il fatto che tali superfici si presentino naturalmente poco colonizzate dalla vegetazione, sia indice del fatto che non esiste una flora capace di dare vita a formazioni continue in tali ambiti. Gli interventi dovranno quindi essere mirati, nella gran parte dei casi, alla messa in sicurezza di piccole superfici, oppure di versanti con pendenze non troppo accentuate. Tra le specie utilizzabili, quelle di maggiore applicabilità sono *Anthyllis barba-jovis*, *Astragalus terraccianoii*, *Atriplex halimus* e *A. portulacoides*, *Centaurea horrida*, *Crithmum maritimum*, *Euphorbia pithyusa* subsp. *pithyusa*, *Frankenia laevis*, *Pistacia lentiscus*,

Seseli praecox ben adattate a condizione di forte salinità e capaci di formare coperture dense e compatte anche su pendii rocciosi esposti al mare (Foto 6.5).



Fig. 6.5 - Stabilizzazione di depositi poco addensati lungo la falesia di Campulandru (Castelsardo) da parte di *Atriplex portulacoides* – Foto A. Forci.

I. ZONE UMIDE E FOCI FLUVIALI

Le situazioni che si presentano in questi contesti sono assimilabili in parte ai corsi d'acqua canalizzati, in parte a quelli naturali, a seconda dei casi. Tuttavia vanno prese anche in considerazione le condizioni climatiche e la qualità delle acque influenzabili dall'ambiente salmastro o marino.

6.2 Materiali diversi dai vegetali vivi

Mentre una non rigorosa allocazione della vegetazione adatta al sito può comportare il fallimento dell'intervento, oltre ad un eventuale danno ambientale, la scelta di materiali non idonei tendenzialmente riduce la prestazione dell'opera o comporta maggiori costi e impatti ambientali.

Nelle opere di IN si utilizzano: materiali vegetali, organici inerti naturali, organici e inorganici naturali e inorganici industriali.

Sono quindi compresi:

- legname(tronchi, ramaglie);
- pietrame;
- terreno vegetale;

- concimi organici (letame);
- ammendanti;
- stuoie o reti in fibre naturali: juta, cocco o altri vegetali (es. paglia, agave, sisal, kenaf);
- biofeltri (materiali come i precedenti);
- mulch di legno, pasta di cellulosa vergine o riciclata.

Pietrame

Il pietrame viene impiegato spesso per opere di protezione, di consolidamento e, più raramente, di sostegno, nonché per la realizzazione di opere trasversali quali le rampe di risalita per i pesci.

In Sardegna è possibile reperire diversi tipi di pietrame, ma deve esserne verificata la disponibilità e l' idoneità zona per zona. In particolare va tenuto conto del contenuto in carbonati del materiale utilizzato, in quanto il calcio rappresenta uno dei più importanti fattori di selezione delle specie vegetali in natura.

In particolare, per quanto riguarda il pietrame è del tutto evidente la larga disponibilità di materiale litoide, derivante da innumerevoli localizzazioni di attività estrattive nell'isola (R.A.S. – Assessorato dell'Industria, 2007).

Si tratta di gamme piuttosto varie di tipi litologici e in grado di abbracciare diversi campi di esigenze, da quelle geomeccaniche e strutturali (resistenza, usura, durezza) a quelle estetiche (colore) ed identitarie. Fra i più ricorrenti: Basalto in facies lapidea (Pozzomaggiore, Abbasanta, Macomer) e in facies di scorie (Torralba, Ittireddu); Granitoidi (Leucograniti, Granodioriti, Monzograniti; Distretto della Gallura: Luogosanto, Bassacutena-Tempio, Luras, Calangianus, S. Antonio di Gallura, Arzachena; Distretto di Buddusò); Calcari e Dolomie mesozoici della Nurra sassarese (Monte Nurra, Monte Alvaro) e di Orosei; "Trachiti" (Ignimbriti e Piroclastiti in genere) mioceniche di Fordongianus, Montresta; "Andesiti" oligo-mioceniche di Sarroch; varie Litofacies metamorfiche di Ozieri, Olbia, Lula.

E' opportuno sottolineare come di recente l'impiego di massi ciclopici di cava sia stato fortemente caldeggiato anche nell'ambito delle proposte d'intervento riguardanti il Riu San Girolamo (*"Analisi dell'assetto fisico del Riu San Girolamo-Masone Ollastu a seguito dell'evento di piena del 22 Ottobre 2008. Rivisitazione e integrazione dello studio denominato Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, per la verifica delle delimitazioni delle fasce fluviali e per l'individuazione delle prime necessarie azioni (opere, vincoli, direttive), per il conseguimento di un assetto del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica del territorio e la salvaguardia delle componenti naturali e ambientali"*). Ordinanza n. 9 del 30.12.2008 del Commissario Delegato per

l'emergenza alluvione in Sardegna del 22 Ottobre 2008) ed abbia trovato soddisfacente applicazione nel Riu Mannu di Pula-Villa San Pietro in Comune di Villa San Pietro (Ca) e nel Riu de Le Prugne in Comune di Aggius (OT), rispettivamente da Andesiti (andesiti di Sarroch) e da litotipi Granitoidi (derivanti da scarti delle cave di Bassacutena).

Con minore diffusione (Oristanese, Ogliastra), ma pur sempre rappresentate, sono le tipologie litologiche in grado di garantire la disponibilità di volumi di materiali ciottolosi.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento di litoidi occorre sottolineare un'enorme disponibilità che deriva dalle discariche e dai ravaneti creati con pezzature non rispondenti ai canoni standard di mercato. In tal senso, si potrebbe prospettare un rapido recupero di questi materiali in termini naturalistici, ovviamente a condizioni economiche da verificare.

Per quanto attiene ai materiali sciolti ciottolosi di tipo fluviale, si sottolinea come le attività produttive posizionate direttamente in alveo osservate ad esempio lungo alcuni corsi d'acqua del settore orientale presentino delle ripercussioni negative sulla stabilità sia del fondo sia delle sponde degli stessi alvei andando così ad incrementare di molto il trasporto solido durante le piene. Dovrà pertanto essere chiarita e definita in altre sedi la questione (*Direttiva per la manutenzione degli alvei e la gestione dei sedimenti in attuazione degli artt. 13 e 15 delle N.d.A. del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico della Sardegna [P.A.I.]*).

Legname

Il legname viene impiegato con funzione di consolidamento temporaneo in attesa che la vegetazione si sviluppi e svolga la stessa funzione, in condizioni stagionali nella norma si calcola che questo avvenga in almeno 10-15 anni. Variazioni in più o in meno dipendono da: tipo e dimensione del legname; modalità di posa in opera; condizioni climatiche, biologiche e geopedologiche; condizioni idrauliche e geomorfologiche; fattori esterni di origine antropica.

Il legname pertanto deve garantire una buona resistenza per un lasso di tempo non inferiore a quello necessario per la completa affermazione della copertura vegetale, in maniera tale che trascorso tale periodo la marcescenza a cui va incontro non pregiudichi l'opera.

Studi effettuati dal 1962 al 2002 (Findlay, Bosshardt, Noetzi; in particolare: K.P. Noetzi 2002), forniscono informazioni sulla durata dei legni a contatto con il terreno vegetale. In particolare le analisi di Findlay (1962) e di Bosshardt (1984) forniscono indicazioni sulla durata di verghe a contatto con il suolo naturale, gli studi di Noetzi (2002) analizzano le cause e le dinamiche delle marcescenze di costruzioni in legno utilizzate nelle sistemazioni dei torrenti. Schematicamente si rileva come molto duraturo il tasso (*Taxus baccata*), tra quelli con una durata di oltre 15 anni la robinia (*Robinia pseudoacacia*), la farnia (*Quercus robur*), il castagno (*Castanea sativa*); i mediamente duraturi 10-15 anni il larice (*Picea decida*), i pini (*Pinus sp. pl.*); quelli che durano

dai 5 ai 10 anni gli abeti rosso e bianco (*Picea excelsa* e *Abies alba*), i frassini (*Fraxinus* sp. pl.), gli olmi (*Ulmus* sp. pl.); con una durata inferiore ai 5 anni i salici (*Salix* sp. pl.), i pioppi (*Populus* sp. pl.), il faggio (*Fagus sylvatica*), l'acero montano (*Acer pseudoplatanus*) e gli ontani (*Alnus* sp. pl.).

Considerando resistenza, provenienza, ma anche qualità ecologica della coltivazione forestale, per la Sardegna si ritiene preferibile l'uso del castagno e secondariamente dei pini.

La durata del legname dipende quindi molto dalle condizioni stagionali del sito; ma si rileva anche l'importanza dell'integrità del legname e della corretta esecuzione dell'opera. Si consiglia quindi di osservare precisi accorgimenti prima di piantare i chiodi perforando preferibilmente il tondame, impiegando chiodi con la testa che rimane all'esterno del legno, eseguendo dei cunei di livellamento, un taglio di accorciamento liscio e inclinato dei legni trasversali dopo l'inserimento, per proteggerli da danneggiamenti dovuti a caduta massi e altro.

Le dimensioni, lunghezza e diametro, dei materiali legnosi, variano a seconda dell'opera da costruire.

Attualmente in Sardegna i legni utilizzati per le opere provengono essenzialmente da ditte continentali.

Concimi organici e ammendanti

I concimi si utilizzano quando il substrato è povero di sostanze nutritive. Considerando le caratteristiche di naturalità che l'intervento deve avere è importante indicare l'utilizzo di concime organico (es. letame) che svolge inoltre un'importante funzione nel migliorare le caratteristiche fisiche del substrato. Il letame inoltre induce variazioni positive nel bilancio umico del terreno, ne incrementa la flora batterica e le capacità imbibenti ed adsorbenti.

Gli ammendanti sono sostanze che si utilizzano su substrati poveri di sostanze nutritive o con una struttura e una tessitura del terreno non ottimali.

La disponibilità di questi materiali è presente nell'Isola. Va tuttavia osservato che in molti casi un eccesso di nutrienti nel terreno può favorire l'ingresso di specie nitrofile invasive, a discapito di essenze con carattere maggiormente pioniero e più capaci, quindi, di stabilizzare le superfici di intervento.

Terreno vegetale

Il terreno vegetale ha un elevato valore ecologico che implica, quando è possibile, che prima della realizzazione dell'opera, avvenga la rimozione e lo stoccaggio dello stesso al fine di poterlo riutilizzare in loco; se questo non fosse possibile è necessario reperire il materiale

pedogenizzato nelle immediate vicinanze, per salvaguardare le caratteristiche ecologiche del substrato di crescita delle piante e anche per contenere i costi.

Il terreno vegetale da utilizzare non deve contenere corpi estranei, pietrame, materiale legnoso, agenti patogeni per la vegetazione, sostanze tossiche e deve comprendere una parte organica.

L'analisi del suolo consentirà di evidenziare le caratteristiche fisico – chimiche del materiale. Da un punto di vista fisico sarà utile determinare la tessitura e descrivere la struttura del suolo. Per quanto attiene alle caratteristiche chimiche si dovrà fare riferimento alle metodologie standard (D.M.13.09.1999 "metodi ufficiali di analisi chimica del suolo") con determinazioni che comunemente potranno considerare i seguenti parametri: pH, calcare totale, calcare attivo, sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile potassio assimilabile, macroelementi e microelementi assimilabili, conducibilità.

Lo spessore del riporto di suolo è condizionato dall'opera e dalle condizioni di stabilità, tenendo presente che le piante tendono a colonizzare lo strato fertile, ma incoerente, senza ancorarsi al substrato roccioso, con possibili conseguenze di smottamenti per sovraccarico se lo strato deposto ha uno spessore non appropriato. Ancora una volta si deve ribadire che il quantitativo di terreno e la tipologia di piante da utilizzare devono essere stabilite coerentemente con le caratteristiche del sito e con gli obiettivi specifici dell'intervento.

Stuoie, reti e biostuoie

Stuoie, reti e biostuoie possono essere impiegate in svariate condizioni, prevalentemente con funzione di controllo dell'erosione.

Questi materiali offrono come vantaggi: la riduzione dell'erosione superficiale di diversa origine (idrica o eolica) nel periodo post-intervento di sistemazione, in attesa che la copertura vegetale si sviluppi; favoriscono l'inerbimento delle superfici interessate dall'intervento grazie alla capacità di trattenuta delle particelle più fini del substrato di crescita delle piante; svolgono una funzione pacciamante riducendo l'evapotraspirazione del terreno e conservando un certo grado di umidità del suolo; la loro decomposizione incrementa la fertilità del terreno ed evita danni a piante e animali.

Esiste la disponibilità di diversi prodotti con caratteristiche diverse nella trama, nella struttura e quindi con resistenze diverse che si prestano a svariate applicazioni. E' probabilmente possibile ipotizzare, in aree caratterizzate da particolare aridità, l'uso di materiali più duraturi rispetto a quelli utilizzabili in contesti più favorevoli, data la maggiore lentezza che contraddistingue lo sviluppo delle piante in queste situazioni.

I prodotti arrivano in prevalenza dal continente, salvo le stuoie di canne per le quali è possibile l'acquisto diretto da imprese sarde che le vendono con diverse dimensioni e legaggi, ma considerando la disponibilità stagionale per grossi quantitativi è necessario ordinarle con preavviso.

Accessori

Sono da considerarsi materiali accessori quelli che vengono utilizzati per il fissaggio delle strutture o di alcune sue componenti, quali i chiodi, i tirafondi, i fili di ferro, le staffe, i tondini, il cordame, che con diverse grandezze e materiali sono facilmente reperibili nel mercato locale. Considerando i lunghi tempi di degradazione dei materiali che li compongono, in siti con valori di naturalità elevata, dove è possibile e dove i costi lo permettono, è meglio prevedere la costruzione di opere che non impieghino materiale non degradabile, per esempio nei sistemi a scacchiera, nei nuclei di innesco o nelle barriere verticali, tipologie usate nelle aree costiere, l'impiego di spago di una certa consistenza al posto del filo di ferro per il legaggio delle stuoie di canne facilita il degrado dell'opera lasciando scarsi residui nel tempo.

6.3 Le tecniche di IN per la Sardegna

6.3.1 Premessa

Lo sfondo conoscitivo e valutativo e i risultati della fase di analisi, ovvero delle attività descritte nei punti precedenti, fungeranno da base per la definizione dei contenuti più specificamente dedicati alle tecniche di IN, che costituiranno la parte strutturale delle Linee Guida.

Si ritiene opportuno evitare di proporre una molteplicità di tecniche e varianti, poiché in una fase applicativa nuova ci si trova di fronte a difficoltà di conoscenza e di validazione. Riducendo il numero di tecniche proponibili in questa situazione iniziale ed evitando di trattarle in tutta la loro complessità, crediamo si possa rendere più agevole ed efficace l'avvicinamento a questi nuovi approcci metodologici e tecnici e, di conseguenza, la formazione, l'elaborazione e la realizzazione.

Sebbene, come già ampiamente affermato, non sia corretto applicare tal quali le tecniche adottate nell'Europa continentale, è molto utile fare tesoro della ricchissima e lunga esperienza attuata in tali luoghi, con i dovuti adattamenti, varianti ed esclusioni. Per l'individuazione delle tecniche si è quindi fatto riferimento a casistiche di applicazioni realizzate in altre parti d'Italia e d'Europa, interpretandole sulla base delle specifiche condizioni operative della Sardegna.

Vengono prima elencate le tecniche che si ritengono applicabili senza particolari difficoltà.

6.3.2 *Elenco delle tecniche*

Le tecniche di IN conosciute corrispondono a quelle sviluppate da anni in paesi e regioni europee dove l'IN è nata ed è applicata da anni (in Italia in particolare nell'Alto Adige). Esistono numerose soluzioni e varianti; tuttavia non si ritiene opportuno presentare un elenco sistematico di tutte o di molte delle tecniche esistenti, sia perché molte di esse non si ritengono, almeno in tempi brevi, applicabili al contesto della Sardegna, sia perché, in una prima fase ove è importante sperimentare e consolidare le tecniche, sarebbero dispersivi e difficilmente attuabili interventi di complessa concezione e realizzazione.

DI CONSOLIDAMENTO

(frane superficiali, sostegno di terrapieni con carichi)

- A1- Infissione di talee
- A.2 – Piantagione di alberi, arbusti, rizomi, trapianto dal selvatico
- A.3 - Gradonata viva
- A.4 - Cordonata viva
- A.5 - Grata viva
- A.6 - Palificata viva a parete semplice
- A.7 - Palificata viva a parete doppia
- A.8 - Terra bio-rinforzata verde

DI ASSETTO E DIFESA PIEDE DI SPONDE E SCARPATE

(movimenti sub-superficiali, superfici di scarpate in frana, canalette)

- B.1 - Viminata viva
- B.2 - Fascinata viva cilindrica
- B.3 - Rullo di canneto o ramaglia
- B.4 - Palizzata viva (verticale e orizzontale)

DI RIVESTIMENTO

(difesa dall'erosione)

- C.1 - Copertura diffusa (con ramaglia viva o astoni)
- C.2 - Semine

C.2.a - con biogeorete

C.2.b - con paglie

C.2.c - con bitume o collanti

C.2.d - tipo "matrice in fibre legate"

C.3 - Biostuoie

OPERE FLUVIALI TRASVERSALI

D.1 - Repellenti vivi

D.2 - Briglie vive

RIQUALIFICAZIONE DUNALE

(sistemi di protezione delle dune stabilizzate)

E.1 - Bioreti di protezione

E.2 - Rivestimenti di stuoie in canne e bioreti

(sistemi di cattura e intrappolamento della sabbia)

E.3 - Barriere verticali

E.4 - Nuclei di innesco

E.5 - Schermi a scacchiera

E.6 - Posa in opera di fascine morte

(sistemi di stabilizzazione e rinaturazione)

E.7 - Impianti di specie arbustive ed arboree in celle triangolari e quadrangolari

E.8 - Semine in celle triangolari e quadrangolari

6.4 Indicazioni per la fase esecutiva

6.4.1 Criteri per i capitolati speciali d'appalto

Nel capitolato speciale di appalto sono regolamentate le caratteristiche tecniche e i materiali da impiegare per l'esecuzione dell'opera, le modalità di esecuzione e le operazioni di misurazione.

Il capitolato prevede la descrizione **delle opere preliminari** che comprendono: la delimitazione del cantiere, la pulizia generale, la difesa della parte epigea e ipogea degli alberi e arbusti

presenti che potrebbero essere danneggiati durante i lavori, le sanzioni per i danni al verde esistente, l'abbattimento di alberi e arbusti, i trapianti, l'accantonamento degli strati fertili del suolo e del materiale di scavo. Seguono le indicazioni relative alla **qualità e provenienza del materiale** con la descrizione delle caratteristiche dei materiali impiegati (terreno agrario, concimi, pacciamatura, geotessuti, acqua, prodotti a base di legno, pietrame, ghiaie, materiale vegetale comprendente alberi, talee, arbusti, rizomi,erbacee, sementi, trasporto del materiale vegetale, ecc). Si descrive quindi la **modalità di esecuzione delle opere di IN** con le relative specifiche tecniche, tenendo conto della specificità per il caso della Sardegna, la quale verrà determinata attraverso le analisi e le valutazioni precedentemente esposte. Oltre alle specifiche costruttive delle opere, si daranno indicazioni sulla garanzia e idonea manutenzione delle stesse fino alla messa a regime degli interventi.

Gli interventi di manutenzione durante l'esecuzione dei lavori e dopo il collaudo sono i documenti finali del capitolato d'appalto e comprendono indicazioni riguardanti le operazioni da attuarsi sugli elementi strutturali, quali la sostituzione o l'integrazione di singoli elementi strutturali, lo smontaggio e la sostituzione di parti danneggiate, la manutenzione delle opere di drenaggio e gli interventi sulla componente vegetale. Questi ultimi, in particolare, possono riassumersi in: falciature e sarchiature, potature, ripristino di conche e rincalzi, ripristino della verticalità delle piante, diradamenti, eliminazione e sostituzione delle piante o talee morte, controllo dei parassiti, concimazioni, prospezione antifauna, irrigazioni di soccorso. Per la descrizione delle voci di capitolato citate (schede) si rimanda alle descrizioni in esse contenute ed ai capitolati per le opere a verde e ai manuali di settore.

Per quanto riguarda il materiale vegetale vivo, nelle tipologie di strutture che ne prevedono l'impiego è necessario specificare che questo (piante radicate e sementi) deve avere un certificato che attesti la provenienza del materiale di propagazione, qualora questo non venga direttamente prelevato dal sito oggetto di intervento o da un territorio limitrofo (in quest'ultimo caso la raccolta deve essere accuratamente sorvegliata). Ciò comporta che anche nei bandi di gara questo aspetto sia specificato e vengano quindi considerati i tempi necessari per la propagazione del materiale, in particolare nel caso di grandi quantità. E' inoltre necessario specificare che il materiale vegetale vivo deve essere esente da virus e da danni all'apparato radicale o aereo che possano compromettere l'attecchimento o lo sviluppo futuro delle piante.

Un altro aspetto riguarda le dimensioni delle piante vive da mettere a dimora. Nella maggior parte dei casi, infatti, i capitolati richiedono dimensioni minime per queste ultime. Ciò spinge i vivaisti a farle crescere rapidamente, con abbondanti irrigazioni e, talvolta, concimi e ormoni. In tal modo le piante, una volta messe a dimora in luoghi aridi, o comunque in condizioni molto più difficili rispetto a quelle in cui si erano sviluppate, difficilmente riescono a sopravvivere, pur

avendo dato, al momento della consegna dei lavori, un aspetto particolarmente "verde" al manufatto.

Un'altra indicazione potrebbe riguardare il metodo di propagazione. Molte specie, infatti, risultano molto più resistenti se riprodotte da seme anziché per talea, specie se utilizzate poco dopo la loro produzione. In alcuni casi, pertanto, il capitolato dovrebbe richiedere che le piante non vengano moltiplicate per via vegetativa.

Per le sementi sarà indispensabile indicare il miscuglio idoneo alle diverse condizioni pedoclimatiche privilegiando la richiesta di specie autoctone. Attualmente la Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari studia le specie erbacee spontanee ma finalizzate al miglioramento pascoli. Ricerche finalizzate all'uso di specie autoctone con finalità di recupero ambientale sono invece in corso presso il CNR di Sassari (vedi box). Tali studi potranno in futuro favorire le produzioni di sementi idonee in Sardegna, dato che attualmente le ditte sementiere sono continentali e utilizzano diverse varietà spesso estere, che mal si adattano alle nostre condizioni pedoclimatiche.

Considerando le condizioni pedoclimatiche si preferirà privilegiare l'utilizzo di talee solo in tipologie di intervento legate alla sistemazione dei corsi d'acqua, anche per queste è necessario che vengano prelevate dal sito di intervento o da un territorio caratterizzato dalle stesse caratteristiche edafiche, bioclimatiche e biogeografiche.

Al fine di garantire una certa naturalità all'intervento è importante che venga specificata la modalità di impianto. Il disegno degli impianti deve tendere a una disposizione irregolare che negli anni potrebbe richiedere interventi di diradamento tesi a regolare la densità della vegetazione, contemporaneamente si creerà una vegetazione disetanea che meglio renderà la *naturalità* degli ambienti. Le tecniche di impianto da utilizzare prevedono dove possibile sesti regolari sulle file e tra le file, ma l'alternanza di specie differenti disposte in gruppi che garantiranno con lo sviluppo dei diversi portamenti una disposizione irregolare dell'impianto

Saranno specificate nel capitolato anche le caratteristiche del terreno vegetale eventualmente da aggiungere, che dovrà comunque provenire da territori vicini con caratteristiche pedologiche e di struttura simili.

Sarà inoltre specificato il rispetto della vegetazione spontanea presente in particolare durante le fasi di allestimento del cantiere e lungo i percorsi e il divieto assoluto di lasciare o depositare qualsiasi materiale che possa compromettere lo stato dei luoghi.

Indispensabile infine indicare che il trasporto e lo scarico del materiale vegetale vivo deve prevenire qualsiasi danno meccanico e da stress dovuto ad alte temperature o carenza idrica.

6.4.2 Realizzazione

Nella realizzazione delle opere di ingegneria naturalistica è necessario procedere secondo le fasi di priorità descritte, per le diverse tecniche, nelle schede. Criteri generali per tutte le tecniche si riassumono: nella pulizia nell'area di intervento da qualsiasi materiale che ostacola la costruzione dell'opera; negli scavi e nei reinterri da effettuarsi osservando le prescrizioni indicate nelle schede tecniche che prevedono anche l'accantonamento degli strati fertili di suolo e del materiale di scavo che verranno successivamente utilizzati per la realizzazione dell'opera; nella realizzazione di opere accessorie (es. drenaggi) che possano favorire la messa in opera dell'opera escludendo eventuali cause di danneggiamento della struttura o nell'attecchimento e futuro sviluppo della copertura vegetale di nuovo impianto. Nelle opere nelle quali si costruiscono delle strutture è necessario rispettare le dimensioni e i fissaggi prescritti nel progetto allo scopo di evitare che la struttura sia poco stabile o non possa assolvere la funzione alla quale e per la quale è stata realizzata. Lo stesso aspetto riguarda la scelta di altri materiali, in particolare i legni, che si deteriorano con tempi differenti e quindi intervengono direttamente nella durata dell'opera. Il riempimento della struttura con il terreno vegetale prevede che alla stesa segua un compattamento (realizzabile in maniera differente a seconda della tecnica da realizzare) che permetterà al substrato di aderire alle diverse superfici di contatto evitando fenomeni di ruscellamento e quindi una possibile erosione che ostacolerebbe l'attecchimento e lo sviluppo della copertura vegetale. La messa a dimora del materiale vegetale generalmente avviene nelle ultime fasi di costruzione dell'opera quando questa è costituita anche da una struttura. L'impianto avviene utilizzando le specie prescritte nel progetto che riporta anche le caratteristiche di età, tipo di allevamento e dimensioni richieste, la messa a dimora a seconda dell'opera può prevedere l'interramento all'interno di una buca che deve avere dimensioni tali da permettere che tutto l'apparato radicale e il pane di terra che lo avvolge sia all'interno della buca onde evitare danni alle radici più superficiali e eventuali disseccamenti. Saranno tagliate le parti degli apparati fogliare o radicale rotte o danneggiate, se si tratta di talee la loro lunghezza e quindi anche la loro infissione nel terreno deve rispettare le caratteristiche fenologiche della specie. Il successivo adattamento favorirà il contatto tra il materiale vegetale e il substrato nel quale è contenuto. Il materiale vegetale arriverà nel sito di intervento al momento dell'impianto, qualora non sia possibile completare le operazioni di impianto nella giornata si predisporrà un'area per lo stoccaggio in situ se non è possibile mantenere il materiale in vivaio e comunque l'area sarà protetta dalle temperature e dal vento in una zona facilmente accessibile e irrigabile. I lavori di manutenzione iniziano al termine della realizzazione dell'opera.

6.4.3 *Cantieristica*

Le operazioni di cantiere (contenute nel progetto) dovranno essere programmate e collocate con precisione nel tempo, attraverso la disposizione cronologica degli interventi e di eventuali periodi di interruzione (es. tutela ambientale o problemi meteo-climatici).

In Sardegna considerando le caratteristiche climatiche generali è opportuno ricordare che i cronoprogrammi terranno conto del fatto che la piovosità è concentrata nel periodo autunno-invernale e primaverile e questa è quasi assente nel periodo estivo, pertanto la messa a dimora delle piante se non accompagnata da irrigazioni di soccorso deve avvenire in periodi nei quali le precipitazioni avvengono.

Schematicamente i criteri generali della cantieristica, validi per tutti gli interventi, comprendono: la delimitazione dell'area di intervento; l'individuazione degli accessi e della viabilità interna nel sito di intervento seguendo le indicazioni progettuali che le individuano e che prevedono la necessità di salvaguardare l'ambito, attraverso la protezione degli areali più sensibili da interventi o dall'utilizzo di macchinari non idonei al contesto ambientale nel quale si interviene e che potrebbero determinare impatti negativi anche irreversibili; le piazzole di stoccaggio, generalmente da realizzare in piano, devono contenere sia un'area per consentire lo scarico dei materiali sia lo stoccaggio degli stessi o di materiali accantonati come il terreno vegetale che successivamente viene riutilizzato, in particolare questi spazi si rendono indispensabili quando l'intervento è di una certa dimensione o non raggiungibile velocemente da centri di raccolta del materiale, nei casi di materiale facilmente deteriorabile è necessario usare degli accorgimenti per la sua protezione; la predisposizione di una idonea segnaletica che indichi e in maniera sintetica, descriva l'intervento che si intende realizzare; la segnalazione e il picchettamento degli spazi che occuperanno le opere compreso l'impianto delle componenti vegetali.

6.4.4 *Cantieristica e ambiente*

In generale, le lavorazioni devono essere effettuate in modo tale da non determinare interferenze significative nei confronti degli ambienti naturali interessati, sia nei luoghi di prelievo della vegetazione e dei materiali necessari, sia in quelli di costruzione delle opere.

Tra le misure di mitigazione da adottare si ricordano le seguenti prescrizioni generali:

- non lavorare nei periodi importanti per il corteggiamento e la riproduzione di specie animali;
- verificare comunque, preventivamente, la sussistenza di condizioni ambientali sensibili al momento dell'apertura del cantiere;

- non danneggiare la vegetazione esistente né quella inserita;
- evitare in particolare la presenza di mezzi meccanici all'interno di alvei, zone umide, dune sabbiose o altri ambienti naturali vulnerabili;
- nel caso in cui sia necessario operare scavi o rimodellamenti, accantonare separatamente gli orizzonti superficiali dei suoli, ricchi di materia organica, che dovranno essere poi riutilizzati per le superfici da rivegetare;
- prendere misure preventive atte ad evitare il rischio di incendio e di sversamento di prodotti inquinanti;
- prendere misure di controllo ed eventuale intervento riparativo nel caso si verificassero incidenti tali da comportare danni e inquinamenti;
- prendere misure atte alla riduzione degli effetti "barriera ecologica", sia nella fase di lavoro che a regime;
- verificare preventivamente, e quindi prendere le dovute misure, in merito all'impatto acustico e sanitario in genere, specie in zone prossime ad abitati;
- prevedere opere di compensazione ambientale per le lavorazioni impattanti, qualora non sia possibile eliminare del tutto gli effetti negativi dei lavori;
- cogliere l'occasione della realizzazione di un'opera per la difesa del suolo al fine di introdurre un incremento della biodiversità, un miglioramento del paesaggio e della qualità della vita, attraverso interventi puntuali da attuare in corso d'opera, anche se di modesta entità.

Risulta inoltre importante considerare gli effetti su spazi accessori, funzionali alle attività di cantiere ma la cui predisposizione e gestione potrebbe avere ricadute negative sulla qualità ambientale del sito. Tali spazi dovranno essere realizzati scegliendo aree prive di vegetazione o occupati da comunità erbacee prive di interesse conservazionistico. In caso contrario dovrà essere ripristinato l'originario assetto vegetazionale e la funzionalità pedo-agronomica. Tali superfici dovranno comunque essere ridotte al minimo evitando, se ciò risultasse necessario, lo stoccaggio anche temporaneo di grandi quantità di materiali o di rifiuti.

Per un'attenta valutazione degli impatti derivanti dalla cantieristica si vedano anche le "Linee Guida V.I.A." (A.N.P.A. 2001).

6.5 Descrizione delle opere di IN

6.5.1 Applicazione delle tecniche nei contesti ambientali

Per rendere più chiara la trattazione e più funzionale l'uso pratico delle linee guida, l'illustrazione delle tecniche verrà presentata attraverso schede tecnico-illustrative (una per ciascuna tecnica).

Ciascuna scheda riporta l'indicazione dei contesti ambientali di potenziale loro applicazione. Tale associazione si basa su considerazioni teoriche e pratiche (confronto con situazioni assimilabili, ma evidentemente non regionali), ma dovrà essere validata e verificata tramite gli interventi pilota (fase sperimentale) e quindi poi confermata o aggiornata.

Infine, a fronte dell'ampia indagine effettuata sul territorio regionale, rappresentativa delle diverse casistiche applicative, anche le specie vegetali individuate nel Par. 6.1 vengono associate a ciascuna di tali casistiche.

6.5.2 Schede tecniche-illustrative delle opere di IN (ALLEGATO 3)

Le schede allegate riportano le caratteristiche tipologiche e costruttive delle opere di IN che si ritiene utile proporre per una prima fase applicativa in Sardegna.

Le schede contengono una parte illustrativa (disegno), una parte descrittiva e una parte esemplificativa (foto di interventi realizzati). In esse sono in particolare contenuti: specifiche per capitolati speciali d'appalto, indicazioni e condizioni applicative e delle specie vegetali, indicazioni per la manutenzione.

Si sottolinea il fatto che l'applicabilità segnalata per ciascuna tecnica va intesa come "presumibile in linea di massima", in quanto, come già ribadito, la fattibilità ed efficacia di un'applicazione si potrà determinare solo dopo attente analisi e successivamente alle risultanze di una fase sperimentale (progetti pilota e monitoraggio), da realizzarsi nei vari contesti territoriali e nelle diverse condizioni (fattori discriminanti).

In riferimento alle informazioni sull'adattamento delle tecniche all'ambito regionale, i contesti bioclimatici indicati si riferiscono al sistema di classificazione proposto da Rivas-Martínez, al quale si è già fatto cenno nel paragrafo 2.2.2. L'esatto inquadramento bioclimatico dei siti di intervento si può ricavare a partire dai dati climatici delle stazioni termopluviometriche più prossime, calcolando gli indici proposti da Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2009). Alcuni esempi, riferiti a 30 località della Sardegna, sono riportati nel volume sulla vegetazione della Sardegna (Bacchetta et al., 2009).

6.5.3 *Analisi dei costi (ALLEGATO 4)*

Per la costruzione del quadro di analisi dei costi delle varie tipologie di opere di IN si è volutamente fatto riferimento ai prezzi elementari attualmente maggiormente reperibili nell'ambito regionale sardo.

A tal fine è stato consultato il Prezziario Regionale dei Lavori Pubblici (R.A.S. - Assessorato dei Lavori Pubblici, 2009), talvolta confrontandone i prezzi con quelli contenuti nei prezziari di altre regioni italiane, per quanto riguarda manodopera, macchinari, materiali e noli; mentre ci si è prevalentemente riferiti al Prezziario dell'Ente Foreste della Sardegna e ad alcuni Prezziari del settore vivaistico per quanto riguarda i materiali vegetali.

Si tiene a precisare che i costi ottenuti devono essere considerati indicativi. Ciò è maggiormente vero per i materiali vegetali utilizzabili in tutte le operazioni di impianto: il prezzo è infatti soggetto a forti variazioni, in funzione della specie vegetale, della sua reperibilità, dell'età della pianta e della sua eventuale certificazione di provenienza. E' auspicabile, pertanto, un'accurata verifica dei prezzi riportati nelle presenti linee guida al momento della progettazione.

Si ritiene quindi opportuno indicare la documentazione pubblicata più recente, aggiornata e più vicina alla realtà sarda, come i manuali prodotti dalla Regione Lazio (2002, 2003, 2006).

Nel sito www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica si possono inoltre trovare i links ad altre pubblicazioni, di enti regionali e nazionali, che riportano ulteriori elementi tecnici relativi alla realizzazione delle opere.

6.6 Cenni sulla manutenzione degli interventi di IN

6.6.1 *Premessa*

Per quanto riguarda la manutenzione e gestione, poiché non sarà possibile standardizzare tutte le casistiche, almeno finché non verrà sperimentata e monitorata adeguatamente l'applicazione dell'IN sulle svariate situazioni riscontrabili sul territorio sardo, si daranno indicazioni per categorie di opere in relazione ai principali contesti applicativi classificati. In sostanza, si indicheranno la traccia e i criteri su cui dovranno essere redatti (in sede progettuale) i piani di manutenzione degli interventi.

6.6.2 *Definizione e classificazione della manutenzione*

Per manutenzione delle opere si intende l'attuazione del piano-programma di visite periodiche e interventi da attuarsi una volta completata e "presa in consegna" l'opera da parte della committenza.

La prima distinzione di principio da fare riguarda quella fra **interventi di completamento**, **interventi relativi allo sviluppo** e **quelli di manutenzione** vera e propria (Schiechl & Stern, 1992), che possono essere così definiti:

- **interventi di completamento** sono tutte quelle cure colturali posteriori all'esecuzione dell'opera e antecedenti alla presa in consegna delle opere da parte della stazione appaltante, ragion per cui sono in genere regolate e specificate nel capitolato d'appalto;
- **interventi relativi allo sviluppo** sono tutte quelle cure colturali (concimazioni, irrigazioni, lavorazioni del terreno, pacciamature, sfalci, taglio delle specie legnose e fornitura di pali tutori) ordinariamente necessarie nel periodo di almeno due anni successivi al completamento dei lavori, in genere prescritte dalla D.L. nel periodo di garanzia delle opere a verde successivo alla consegna lavori, e quindi normate nel Capitolato d'appalto oppure da un contratto correlato e consequenziale agli interventi;
- **interventi di manutenzione straordinaria**, finalizzati alla riparazione o adeguamento dell'opera al verificarsi di eventi imprevisi tali da provocarne il danneggiamento oppure da determinare condizioni differenti da quelle per cui essa era stata concepita;
- **interventi di manutenzione ordinaria** a medio o lungo termine, sono invece quei lavori necessari per consolidare i manufatti o mantenere la funzionalità dei soprassuoli forestali creati con l'IN; in genere sono a carico della stazione appaltante in quanto preventivabili in periodo successivo al termine della garanzia delle opere a verde. Tali interventi colturali possono poi diversificarsi a seconda dei diversi obiettivi che ci si può porre nel caso delle formazioni forestali:
 - a) si può tendere a creare delle **associazioni durature**, intese come vivai per la produzione di talee, attraverso la ceduzione periodica;
 - b) si può tendere a creare delle **associazioni durature**, atte a mantenere certe funzioni biotecniche, quali la protezione spondale, con tagli di sagomatura o di ceduzione per limitare l'ingombro o avere getti flessibili alla corrente;
 - c) si può infine tendere a creare delle **associazioni finali**, cioè dei boschi naturali che evolvono verso la condizione di equilibrio propria del climax, con principi di governo propri dei cedui composti (con interventi selvicolturali in genere a partire da 20-30 anni dall'impianto), che mirano a favorire la sostituzione sul lungo periodo delle specie pioniere con specie proprie di associazioni mature.

6.6.3 *Principi e caratteristiche della manutenzione delle opere di IN*

CRITERI GENERALI

Uno degli obiettivi delle sistemazioni con IN è generalmente quello di evitare o ridurre, nella misura del possibile, successivi interventi di manutenzione. Infatti i soprassuoli vegetali normalmente introdotti rappresentano stadi vegetativi di durata breve-media (specie pioniere, capaci di insediarsi su substrati difficili) che evolvono verso formazioni dominate da specie più esigenti (Schiechtl, 1991).

Perciò si deve progettare l'intervento in modo da tendere ad avvicinarsi alla successione naturale spontanea.

Nel caso delle sponde fluviali, in genere, negli interventi classici, si punta all'obiettivo b) (vedi paragrafo precedente), e per mantenere i salici in associazioni pure si ha bisogno di interventi colturali limitati, proprio in virtù della loro attitudine pioniera. Le uniche eccezioni possono essere le seguenti:

- quando per motivi funzionali si voglia impedire l'ulteriore evoluzione del popolamento di salici, in situazioni nelle quali l'ingombro deve mantenersi sul piano arbustivo;
- quando si renda necessario un taglio sanitario a seguito di danneggiamenti creati da piene o di scosciamenti dei fusti o di seccumi da patogeni;
- quando si voglia mantenere la formazione nella condizione di forte vitalità propria della fase arbustiva, con getti flessibili appressati alla base; in tal caso si devono tagliare i salici a intervalli di 5-10 anni, allontanando nel contempo tutte le altre specie legnose che potrebbero ombreggiare il popolamento (Schiechtl & Stern, 1996).

La visione moderna della manutenzione della vegetazione, sia essa erbacea, arbustiva o arborea, non tiene più in considerazione unicamente il principio di garantire la sicurezza idraulica, ma ne aggiunge un altro, altrettanto importante: il mantenimento dell'equilibrio ecologico del corso d'acqua e delle funzioni ecologiche legate alla vegetazione riparia stessa. Per questo motivo, ogni intervento di manutenzione deve essere effettuato in considerazione delle funzioni biologiche e tecniche assicurate dalla vegetazione e non deve, in nessun caso, diminuirne le capacità.

È ugualmente importante precisare che i vegetali installati nel quadro di un progetto di IN sono destinati a costituire delle strutture vegetali naturali il cui scopo, oltre a quello di consolidamento e stabilizzazione, è quello di ricostituire ambienti di vita terrestri legati al corso d'acqua. Quindi le direttive di manutenzione intraprese dagli Enti preposti a tale scopo dovranno perseguire innanzitutto e contemporaneamente obiettivi di funzionalità biologica e idraulica.

Per soddisfare tali obiettivi, è assolutamente necessario assicurarsi che gli interventi di manutenzione non provochino, a lungo termine, la formazione di strutture boscate inadatte, come ad esempio monoculture di specie esotiche invasive, quali ad esempio robinia (*Robinia pseudacacia*) o ailanto (*Ailanthus altissima*).

In sintesi, a livello operativo, si possono esprimere i seguenti principi.

Le opere in IN illustrate nelle linee guida hanno lo scopo di costituire delle formazioni vegetali vicine a quelle esistenti naturalmente. La manutenzione di tali opere, e soprattutto della vegetazione sviluppata, dovrà avvenire unicamente allorquando vi siano problemi di stabilità dell'opera nei primi 2-3 anni o, per i corsi d'acqua, eventuali problemi legati all'officiosità idraulica.

Il tipo di manutenzione delle opere di IN e della vegetazione ad esse legata deve essere corrispondente al tipo di ambiente in cui queste si inseriscono. In un ambiente naturale, o vicino allo stato naturale, dove non vi sono importanti beni da proteggere, le opere di manutenzione devono essere ridotte al minimo, in modo da poter lasciare all'ecosistema la possibilità di evolvere secondo la sua dinamica.

Al contrario, in zone maggiormente antropizzate, in particolare quelle edificate e/o industrializzate, le opere di manutenzione tendenzialmente devono essere maggiormente presenti, onde rendere compatibile la presenza della vegetazione con le attività e i manufatti presenti e garantire deflussi idrici corrispondenti a un adeguato grado di sicurezza, cercando però di avvicinarsi il più possibile allo stato naturale.

Nelle Schede Tecniche sono indicati gli interventi di manutenzione necessari per ciascuna opera.

PROGRAMMI DI MANUTENZIONE DELLE OPERE

Le opere di IN comportano la predisposizione di un programma di manutenzione che preveda interventi sull'opera e che variano a seconda della stessa, anche come durata, e che comprendono quelli sulla componente vegetale e quelli sulle parti inerti.

Considerando le difficoltà tecniche delle opere di manutenzione, è preferibile affidare i lavori a ditte specializzate nel settore agroforestale che assicurino una manodopera competente e a minori costi.

Gli interventi previsti per la manutenzione della componente vegetale sono riconducibili a: quelli diretti che comprendono una serie di lavori atti a favorire l'attecchimento e il massimo sviluppo della pianta, delle talee delle sementi impiantate; quelli indiretti tesi a migliorare e proteggere lo sviluppo della componente vegetale delle opere e a tutelarne la stabilità.

Gli interventi possono riassumersi in:

- **Falciature e sarchiature:** l'intervento comprende lo sfalcio delle infestanti, al fine di favorire l'insediamento delle specie presenti o di nuovo impianto, avendo cura di non danneggiare quelle autoctone cresciute spontaneamente. Le superfici di impianto interessate da specie arboree e arbustive devono essere oggetto di sarchiature periodiche. Queste si effettuano per contenere lo sviluppo di specie infestanti, per favorire la circolazione dell'aria riducendo l'evapotraspirazione. Gli elevati costi dell'intervento limitano e suggeriscono di prevederli fino a quando la pianta non riesce a vincere la concorrenza interspecifica, si interviene di solito nelle prime tre stagioni vegetative.
- **Potature:** la potatura di formazione diviene una pratica colturale importante nelle parti aeree delle talee per favorire lo sviluppo dell'apparato radicale della pianta. Le potature di formazione e di rimonda devono essere effettuate nel rispetto dell'habitus vegetativo delle singole specie. Negli ambiti fluviali il taglio della vegetazione arborea può interessare anche le piante arboree cresciute spontanee nei pressi delle opere realizzate e che hanno raggiunto uno sviluppo che compromette il normale deflusso delle portate di piena.
- **Ripristino conche e rinalzo:** si deve provvedere alla chiusura delle conche e al rinalzo delle piante, oppure alla riapertura delle conche per l'adacquamento, a seconda dell'andamento stagionale, delle zone climatiche e delle caratteristiche di specie.
- **Ripristino della verticalità e degli ancoraggi delle piante.**
- **Diradamento delle talee impiantate:** consiste nel taglio selettivo delle specie arboree, è finalizzato ad indirizzare la crescita e lo sviluppo delle specie autoctone, si interviene quando il taglio non pregiudica la stabilità dei terreni. Il diradamento interesserà inoltre le piante che possono aver raggiunto uno sviluppo eccessivo per la struttura inerte dell'opera o possono ostacolare il deflusso delle acque o nel caso alcune specie risultino infestati allo sviluppo delle altre.
- **Eliminazione e sostituzione delle piante morte:** il recupero delle fallanze consiste nella sostituzione delle piante, delle talee o nell'esecuzione di nuove semine che non hanno attecchito. Si effettua nel primo anno successivo all'impianto: per le operazioni di semina e di messa a dimora, negli ambienti mediterranei si consiglia il tardo autunno e la primavera in corrispondenza dei mesi caratterizzati da maggiore piovosità. Le eventuali piante morte dovranno essere sostituite con altre identiche a quelle usate nel precedente impianto. La sostituzione deve, in rapporto all'andamento stagionale, avvenire nel più breve tempo dall'accertamento del mancato attecchimento.

- Controllo dei parassiti e delle fitopatie in genere: consiste nel controllare le manifestazioni patologiche sulla vegetazione delle superfici sistemate, provvedendo alla tempestiva eliminazione del fenomeno patogeno onde evitarne la diffusione e rimediare ai danni accertati, considerando i costi e la difficoltà nella quale si deve operare l'intervento deve essere accuratamente valutato.
- Concimazioni: la concimazione si effettua quando necessario utilizzando sostanze organiche, come il letame che migliora la struttura dei terreni e favorisce lo sviluppo della pianta impiantata; si devono evitare le concimazioni nel periodo autunnale e invernale la vegetazione è in riposo vegetativo. Considerando l'elevato costo dell'intervento è importante verificare le condizioni di fertilità dei suoli che si utilizzano.
- Protezione antifauna: è importante verificare le strutture di protezione utilizzate come difesa dalla fauna selvatica e dagli animali al pascolo. Considerando i costi elevati che presenta l'impiego di strutture singole per pianta, che vanno quindi anche controllate singolarmente, si preferisce di norma intervenire con una recinzione che deve durare fino allo sviluppo della copertura arbustiva e arborea capace di superare i danni causati dagli animali.
- Verifica della maglia di scolo costituita da fossette e drenaggi superficiali: almeno durante il primo anno dell'opera, questa serve per il controllo della circolazione idrica superficiale a tutela dei suoli movimentati e delle essenze impiantate evitando o limitando quindi i fenomeni di erosione.
- Irrigazioni di soccorso: sono da considerare, quando è possibile effettuarle, tenendo presente il limite degli elevati costi e della raggiungibilità delle aree di impianto con autobotti o pompe. Nonostante tali difficoltà, soprattutto in ambienti mediterranei, possono essere indispensabili tre o quattro adacquamenti per superare la stagione estiva, soprattutto quando l'assenza di precipitazioni perdura dalla tarda primavera all'inizio dell'autunno.⁵ L'opportunità di provvedere all'irrigazione dipende dallo stato di salute delle piante e si dovrà procedere qualora si notassero i tipici sintomi di stress da deficit idrico. Gli adacquamenti dovranno proseguire fino alla scomparsa di tali sintomi o nel caso in cui si verificassero precipitazioni.

La manutenzione delle porzioni inerti di un'opera di IN prevede interventi che salvaguardino la stabilità della struttura interna dell'opera, in attesa che la componente vegetale non raggiunga uno sviluppo tale da assolvere alla funzione strutturale.

⁵ In Sardegna se l'estate è molto ventosa le temperature non sono elevatissime. Il vento contribuisce a determinare un'elevata evapotraspirazione dissecando anche gli strati più superficiali del suolo; per cui le irrigazioni, anche se le temperature non fossero elevate e il vento fosse forte, sono consigliate.

Gli interventi diretti comprendono:

- Sostituzione o integrazione di singoli elementi strutturali: in seguito al deterioramento di porzioni d'opera (legname o pietrame) di solito, si interviene con il rinforzo dei singoli elementi deteriorati tramite il ripristino dei fissaggi o l'accoppiamento di nuovi elementi.
- Smontaggio e sostituzione delle parti danneggiate: si effettua in seguito ad asportazione di porzioni d'opera (esempio opere di difesa di sponda) o in seguito a eventi eccezionali che dividono parti intere delle opere. Talvolta gli interventi di smontaggio e sostituzione procurano danni alla componente vegetale che deve quindi essere reimpiantata.
- Manutenzione delle canalette di drenaggio superficiale: l'intervento prevede la sostituzione delle parti, solitamente legnose, che si possono presentare danneggiate.

Gli interventi indiretti comprendono:

- Fossi di guardia: per ridurre lo scorrimento superficiale delle acque piovane nell'area a monte dell'opera di ingegneria naturalistica.
- Soglie di fondo: consistenti in manufatti trasversali in legname o pietrame con il fine di mantenere la quota di alveo e quindi assicurare l'opera da un eventuale scalzamento al piede.
- Sub-drenaggi: consistenti in sistemi di drenaggio profondo per l'allontanamento delle acque eccedenti nell'area dell'opera.
- Muri andatori di valle e di monte: consistenti in opere complementari di protezione delle zone di ammorsamento dell'opera, quindi realizzate tramite strutture di sostegno palificate a struttura semplice o doppia.

Schema riassuntivo di interventi di manutenzione diretta e indiretta sulla componente vegetale per tipologia di opera:

Tipologia opera	Tipologia intervento	Stagione vegetativa (del primo intervento)
Scogliere con talee	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero delle fallanze • Potatura di formazione • Diradamenti • Protezione da animali 	<ul style="list-style-type: none"> • 2(dipende) • 2 e 4 • 6 • 1
Grate vive	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero delle fallanze • Potatura di formazione • Diradamenti • Sfalcio • Sarchiature • Concimazioni • Maglie di scolo 	<ul style="list-style-type: none"> • 2(dipende) • 2 e 4 • 6 • 2 • 2 • 1 • 1
Palificate semplici e doppie	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero delle fallanze • Potatura di formazione • Diradamenti • Protezione da animali • Maglia di scolo 	<ul style="list-style-type: none"> • 2(dipende) • 2 e 4 • 6 • 1 • 1
Gradonate	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero delle fallanze • Potatura di formazione • Diradamenti • Sfalcio • Protezione da animali • Sarchiature • Concimazioni • Maglie di scolo 	<ul style="list-style-type: none"> • 2(dipende) • 2 e 4 • 6 • 2 • 1 • 2 • 1 • 1
Gabbionate	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero delle fallanze • Potatura di formazione • Diradamenti 	<ul style="list-style-type: none"> • 2(dipende) • 2 e 4 • 6
Graticciate vive	<ul style="list-style-type: none"> • Potatura di formazione • Diradamenti • Protezione da animali • Sarchiature • Concimazioni • Maglia di scolo 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 e 4 • 6 • 1 • 2 • 1 • 1

7 Programmazione e progettazione delle opere di IN

7.4 Premessa

Le opere che impiegano elementi costruttivi naturali e che al tempo stesso si collocano sul territorio devono innanzitutto comportare sempre l'analisi dell'ambiente in cui si inseriscono.

Si ricordano inoltre i dettami generali previsti dalla normativa per le opere pubbliche (L.109/94), secondo la quale le soluzioni dovranno essere concepite affinché si persegua:

- il minimo possibile consumo di risorse e di energia;
- il minimo consumo di risorse non rinnovabili;
- il minimo impatto ambientale possibile;
- un basso onere di manutenzione;
- priorità all'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica;
- la scelta delle migliori tecnologie disponibili;
- l'affidabilità, anche in termini di sicurezza.

Nella seguente trattazione terremo quindi conto del rispetto di tali principi.

Per un adeguato processo decisionale e attuativo che rispetti tali prerogative, si deve procedere nel seguente ordine:

FASE PROGRAMMATICA (essenzialmente contenuta nei piani di bacino e nei piani d'emergenza)

1. individuazione delle problematiche e delle esigenze;
2. stesura di un piano delle azioni e degli interventi;
3. nell'ambito del piano: definizione delle priorità d'intervento;

FASE PROGETTUALE

4. verifica della reale necessità dell'intervento;
5. analisi della fattibilità dell'intervento;
6. raccolta dati, analisi fisico-ambientale e studi territoriali-ambientali;
7. definizione della tipologia d'intervento (prima fase della progettazione);
8. rilievi preliminari;

9. progettazione dell'intervento;
10. rilievi e studi di dettaglio;
11. progettazione definitiva;
12. progettazione esecutiva e piano di manutenzione;
13. appalto e realizzazione lavori;
14. messa a punto degli interventi;
15. monitoraggio degli interventi;
16. manutenzione con eventuale proseguo del monitoraggio.

Competenza delle presenti linee guida è perlopiù la fase progettuale; tuttavia, poiché i progetti debbono raccordarsi direttamente con la loro necessità e priorità, si riporta un inquadramento di tale fase pre-progettuale.

7.5 Criteri per l'individuazione delle priorità di intervento (fase programmatica)

Gli obiettivi principali da perseguire nella sistemazione del suolo con tecniche di IN sono, in sintesi, la **minimizzazione del rischio idrogeologico** e la **massimizzazione della qualità paesaggistico-ambientale**. E' generalmente possibile perseguire entrambi gli obiettivi quando si opera in contesti di versante, mentre nel caso di interventi in ambito fluviale nascono quasi sempre conflittualità. Ciò avviene perché le esigenze di tutela della sicurezza di aree antropizzate rendono di solito necessari interventi di regimazione che compromettono, in misura variabile, la naturalità degli ecosistemi.

Ai suddetti obiettivi si possono aggiungere, a seconda dei casi, varie esigenze di uso del territorio per attività economiche e di svago.

Quindi i tre **fattori** da tenere principalmente in considerazione per l'orientamento degli interventi sono:

- rischio idrogeologico;
- qualità ambientale;
- interessi socio-economici sul territorio.

Al fine di tendere ad un'ottimizzazione globale dei tre obiettivi attraverso un'analisi "multicriterio" e a fronte dei vincoli solitamente imposti dai tempi e dalle disponibilità finanziarie, è necessario pianificare gli interventi secondo tale principio.

Si sottolinea ancora una volta come la valutazione del verificarsi o meno di condizioni di criticità dal punto di vista del rischio idraulico e della qualità ambientale è indispensabile per la determinazione della reale necessità di intervento, per l'individuazione delle priorità e per la verifica dell'applicabilità delle tecniche di IN.

IL GRADO DI RISCHIO IDROGEOLOGICO

Pericolosità e rischio per frana

In Sardegna, come riportato più estesamente nei paragrafi 2.3.1 si ha una pericolosità e un rischio di frana sviluppati da crolli soprattutto lungo le cornici rocciose, rappresentate essenzialmente da bancate in giacitura sub-orizzontale costituite sia da litotipi vulcanici di età miocenica (ignimbriti saldate) e in minor misura pliocenica, (basalti). La stessa tipologia di frane di crollo è oltremodo diffusa anche nei litotipi carbonatici di età sia mesozoica (Giurassico), sia terziaria (Miocene) caratterizzati anch'essi da giaciture degli strati poco inclinate e intensa fratturazione.

Va detto tuttavia che la suscettività all'alterazione di molti termini vulcanici del Miocene, sia lavici (andesiti), che piroclastici (certe ignimbriti non lapidee sovente bentonitizzate) o vulcanoclastici, li espone al manifestarsi di non episodici casi di fluidificazione delle coltri più superficiali. Circostanza questa che trova sistematico riscontro, ad esempio, in innumerevoli e talora continue porzioni di trincee stradali del Logudoro, della Planargia e dell'Anglona in caso di piogge prolungate (ne sono prova al momento numerose strade provinciali), con effetti non trascurabili sulla praticabilità e sulla sicurezza delle medesime.

Nei litotipi costituiti da rocce di tipo granitoide, i cui rilievi spesso sovrastano i centri abitati (Nuoro, Berchidda, Arbus, Bultei, Bottidda, Orotelli, Aggius, Guspini, Benetutti, Lanusei, Ilbono, Arzana, Villagrande Strisaili, ecc.), fenomeni di crollo attivi sono anch'essi presenti ma (se si esclude l'Ogliastra) più localizzati e sporadici (si tenga conto, tuttavia, che gli ammassi granitoidi sono molto diffusi) e interessano per lo più i termini che danno luogo alle morfologie più accidentate; le fenomenologie di crollo relitte o stabilizzate naturalmente sono tuttavia estremamente diffuse sui versanti oltre i 600 m. Consueti sono i casi di allentamento e colamento (con associati scivolamenti o crolli in funzione della pervasività della fratturazione) dei fronti esposti in granito arenizzato, del quale è ben nota la drastica perdita di resistenza al taglio naturale in caso di imbibizione, quindi con piogge sia intense che prolungate. Frane localizzate interessano inoltre le litologie metamorfiche soprattutto lungo le fasce cataclastiche o dove si creano condizioni favorevoli allo scivolamento in funzione della giacitura dei piani di scistosità, dell'alterazione e della conformazione del rilievo (piani di scistosità a franapoggio meno inclinati del pendio). Da tutto ciò emerge che nei progetti di riduzione del rischio geomorfologico che ricadono in queste contesti e che interessano la gran parte dell'Isola, le opere di IN potranno

trovare applicazione, oltre che sulle coltri di arenizzazione dei graniti e nei contesti alterati limitati del vulcanismo terziario, in special modo sulle coperture detritiche quaternarie presenti diffusamente nei versanti e che localmente possono assumere spessori ed estensioni non trascurabili. Si tenga tuttavia presente che le cosiddette **coperture di versante** di molta cartografia geologica, corrispondono in realtà a fenomenologie di crollo naturalmente stabilizzate sui versanti di raccordo (ad esempio Barbagia, Baronia e Ogliastra in corrispondenza delle formazioni carbonatiche mesozoiche) con tutto ciò che ne consegue in rapporto ai caratteri litotecnici ed idrogeologici dei terreni.

Da una simile base conoscitiva consegue che le tecniche di IN propriamente dette possano essere applicate nella stabilizzazioni di versanti solo nelle aree di affioramento delle litologie sedimentarie in gran parte riferibili alle successioni mioceniche, soprattutto dove sono presenti litotipi marnosi, argilloso-sabbiosi e vulcanici alterati che affiorano in vasti settori della Marmilla, della Trexenta e di alcune aree del Sassarese (Logudoro, Anglona), dove spesso si verificano dissesti che coinvolgono soprattutto la rete viaria secondaria. Nella maggior parte dei casi infatti, più che fenomeni di frana veri e propri, si tratta di locali smottamenti o scoscendimenti che si verificano in corrispondenza di tagli artificiali lasciati spesso senza alcuna opera di protezione a seguito, come detto, di piovosità prolungate o critiche. Recenti studi legati alla realizzazione della nuova cartografia geologica (Progetto CARG), all'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI), o ad opere di tipo ingegneristico (Servizio di elaborazione dello studio geologico e geotecnico sull'area in frana in località Peru-La Ciaccia (Castelsardo) e sugli interventi di manutenzione straordinaria della condotta "Coghinas I"-ENAS, 2008-2009), hanno evidenziato infine come siano più diffuse di quanto sinora noto, le frane antiche o paleo frane, adesso stabilizzate, le quali, per la presenza di un'importante componente argillosa, possono dare comunque non pochi problemi di stabilità in caso vengano interessate anch'esse da importanti scavi per opere civili.

In questo senso non si deve trascurare quanto detto sopra a proposito delle frane relitte così diffuse negli ambienti granitoidi, almeno del settore orientale (a questa condizione predisponente ed alle particolari tipologie di alterazione in funzione delle tipologie litologiche, deve ritenersi legata una buona parte della tendenza alla formazione di colate di detrito e di blocchi in Ogliastra), ma anche in quelli carbonatici terziari al contatto con substrati vulcanici (settore Nulvi-Martis; Florinas)

Pericolosità e rischio idraulico

Le recenti alluvioni dell'autunno 2008 e 2009 che hanno interessato buona parte dell'Isola, hanno evidenziato come le aree limitrofe ai corsi d'acqua presentino una pericolosità idraulica sempre molto elevata. Ciò discende senza dubbio dal carattere torrentizio dei regimi idrografici, dall'immaturità e dalla forte energia del rilievo, con piane alluvionali limitate che dimostrano

anch'esse il loro stato di immaturità. Tuttavia abbiamo potuto una volta di più constatare come il rischio idraulico abbia raggiunto ormai valori molto elevati in seguito all'intensa urbanizzazione che ha interessato negli ultimi decenni soprattutto la fascia costiera, senza risparmiare affatto le fasce di funzionalità idraulica. Si consideri inoltre che il P.A.I. individua nei ponti stradali e nella scarsa manutenzione idraulica le principali cause di Pericolo idraulico (ben il 50%). Da questo stato di cose consegue che pochi sono ormai i corsi d'acqua con un soddisfacente grado di naturalità.

Per quanto riguarda le applicazioni delle tecniche di IN, le stesse potranno svolgere un ruolo diverso a seconda che ci si trovi a operare in un contesto urbano o in zone scarsamente antropizzate. Nel primo caso le applicazioni sono in genere rese più complicate dalla presenza di edifici e infrastrutture che condizionano pesantemente gli interventi possibili: in un contesto fortemente artificializzato non sarà possibile, almeno sino a che non si finanzieranno specifici interventi di riqualificazione fluviale, rispettare in genere i canoni dell'IN così come definita in precedenza e ci si dovrà invece accontentare di opere di mitigazione con utilizzo di specie vegetali che consentiranno se non altro di rendere meno impattante l'inserimento di opere di ingegneria di tipo tradizionale (muri, terre armate, gabbionate, ecc).

Diverso è il caso di contesti extraurbani in cui di solito esistono meno vincoli di tipo politico-amministrativo e sarà in linea di principio possibile realizzare interventi di IN che richiedono in genere spazi di intervento più ampi rispetto alle tecniche tradizionali.

Alla luce delle problematiche connesse all'elevato trasporto solido in concomitanza degli eventi di piena, gli interventi per la riduzione del rischio idrogeologico non dovrebbero essere limitati ai corsi d'acqua ma interessare l'intero bacino idrografico con lo scopo di limitare gli effetti erosivi delle acque ruscellanti e incanalate, soprattutto dove sono presenti depositi superficiali facilmente erodibili come ad esempio le aree percorse da incendio, che in caso di eventi pluviometrici estremi, vanno ad aumentare gli effetti distruttivi delle piene.

Anche nei corsi d'acqua le applicazioni dell'IN sono fortemente condizionate dal substrato geologico; queste saranno ovviamente di scarsa o nulla utilità in corrispondenza di alvei incassati in roccia o con depositi alluvionali caratterizzati da granulometrie troppo grossolane (massi e blocchi), mentre troveranno in genere buone possibilità di successo quando il corso d'acqua attraversa depositi a granulometria più variabile in cui la componente più fine (sabbie, limi, argille) assume un'importanza più rilevante e dove sarà possibile intervenire sia con opere trasversali che laterali a protezione delle sponde.

INDICATORI

Il grado di pericolo idrogeologico può dipendere dai seguenti indicatori:

Versanti:

- caratteri litologico-tecnici ed idrogeologici del substrato
- inclinazione del pendio
- fenomeni di instabilità in atto o potenziali
- presenza di marcati fenomeni erosivi
- presenza di depositi superficiali potenzialmente instabili
- copertura vegetale

Corsi d'acqua:

- errori di progetto nelle opere di attraversamento
- insufficiente manutenzione idraulica e sovralluvionamento da parte dei sedimenti (quest'ultimo può essere conseguente a sua volta a errati approcci progettuali)
- morfologia e clivometria dei luoghi;
- scarsa possibilità di espansione delle piene;
- scarso o inefficace livello di forestazione del bacino;
- alto livello di impermeabilizzazione;
- abbandono delle pratiche di sistemazione dei pendii;
- dissesti in alveo e nelle aree limitrofe;
- presenza di rifiuti e scarichi solidi abusivi;
- presenza di ostacoli in alveo dovuti a infrastrutture degradate;
- carenza o degrado delle difese idrauliche in aree antropizzate.

La valutazione degli indicatori suddetti, integrata da un'analisi storica degli eventi, permette l'individuazione delle aree soggette a maggior pericolosità idrogeologica; la valutazione di quest'ultima comunque dovrebbe essere condotta, nella fase preliminare del progetto, secondo quanto riportato nel precedente par. 6.5

Mentre la valutazione qualitativa può essere effettuata mediante l'analisi di osservazioni dirette o alla verifica degli effetti o delle superfici interessate relativi a determinati dissesti, la valutazione quantitativa deve poter stimare, in modo statisticamente rappresentativo, i rapporti "causa-effetto", ovvero mettere in relazione gli eventi pluviometrici con i fenomeni di instabilità di versante e le piene. Ciò si può ottenere adottando modelli matematici che utilizzano i dati sulle precipitazioni e le suddette caratteristiche del bacino.

Ferme restando le difficoltà, allo stato attuale in Sardegna ciò è possibile almeno per gli interventi idraulici, ma non lo è affatto per quelli sui versanti, in quanto non è mai stata intrapresa una ricerca che metta in relazione i comportamenti geomeccanici con soglie pluviometriche. Lavoro questo che, data la varietà litologica, sarebbe tanto impegnativo quanto estremamente proficuo. Ciò nonostante, a ben vedere, in numerose osservazioni tratte dalla pratica professionale si è potuto constatare che al di sopra di certi livelli di piovosità non possono che determinarsi inneschi di mobilizzazioni e fluidificazioni. Ad esempio, sul granito arenizzato già con piogge giornaliere di 60-70 mm vi è la possibilità di fenomeni gravitativi tipici del contesto geolitologico (colate di detrito e crolli). Con piogge prolungate si fluidificano sistematicamente tutte le scarpate su termini piroclastici alterati in bentonite (es: es. stagione invernale 2008-2009; Anglona, valle di Ottana). Le erosioni incanalate invece sono possibili in situazioni più estreme (30-40 mm/h) soprattutto con substrati denudati o, ancor prima, in quelli rimaneggiati da scorrette lavorazioni agricole come il *rittochino* (peraltro vietato, in aree di vincolo idrogeologico, su superfici > 35% di pendenza; ex P.M.P.F-Decreto dell'Assessore della Difesa dell'Ambiente 23/08/2006, n.24 CFVA).

IL GRADO DI QUALITÀ AMBIENTALE

L'analisi della qualità ambientale ha lo scopo di individuare la necessità e il livello di tutela o l'opportunità di interventi di miglioramento ambientale da adottare nei determinati contesti in cui si realizzano le opere. Occorre, infatti, ricordare che gli interventi di IN, se correttamente pianificati ed eseguiti, permettono la conservazione dei valori ecologici preesistenti e possono persino condurre a un miglioramento della qualità ambientale qualora si operi in situazioni di degrado.

Se la valutazione del rischio è il criterio fondamentale per definire l'urgenza di un intervento, l'analisi della qualità ambientale può risultare determinante per comprendere se le tecniche di IN debbano essere preferite a quelle tradizionali. Infatti, se nell'ambito di spazi fortemente compromessi, dal punto di vista sia ecologico che paesaggistico, può essere ammessa qualsiasi tipologia di intervento, in aree ad elevata naturalità la scelta dell'IN diviene quasi sempre obbligatoria.

Il grado di qualità ambientale può dipendere soprattutto da:

- presenza di aree coperte da formazioni vegetali mature;
- naturalità delle formazioni vegetali, stimabile come presenza o prevalenza di formazioni mature, tappe seriali o di comunità pioniere stabili (es. garighe dei materassi alluvionali rimaneggiati);

- livello di diversità ecosistemica e, nel caso di serie catenali, completezza della successione lungo il transetto;
- livello qualitativo e quantitativo di diversità specifica animale e vegetale;
- presenza di specie bioindicatrici;
- livello di criticità, che esprime il complesso delle caratteristiche che rendono la situazione precaria, comprende sia l'entità e la diffusione dei fenomeni di degrado e di inquinamento sia le caratteristiche del comportamento del sistema nei confronti degli stessi.

Lungo le aste fluviali saranno da valutare, inoltre:

- entità della regimazione dell'alveo;
- livello di diversità biologica, sia sul territorio che nel corso d'acqua (quest'ultima valutabile ad esempio attraverso indicatori biologici, quali i macroinvertebrati);
- livello di diversificazione fisica dell'alveo (quale l'alternanza fra raschi e pozze).

L'individuazione delle priorità di intervento consiste in una fase di valutazione propedeutica che precede lo studio di fattibilità, viene pertanto svolta prima ancora di stabilire con certezza se l'intervento sarà realizzato sul sito indicato. Per tale ragione risulta complicato il reperimento di disponibilità finanziarie per studi approfonditi e dettagliati. Occorre quindi fare una distinzione tra le indagini assolutamente necessarie in questa fase e quelle, più esaustive, realizzabili al momento della progettazione degli interventi.

Malgrado alcune delle indagini preliminari possano risultare speditive e possano essere realizzate in qualunque periodo dell'anno, altre analisi devono essere necessariamente compiute durante tutto il corso dell'anno o, perlomeno, nella stagione più idonea.

Nella prima tipologia di studi possono rientrare:

- inquadramento territoriale dal punto di vista abiotico (litologia, morfologia, pedologia, climatologia);
- inquadramento territoriale dal punto di vista bioclimatico e biogeografico;
- definizione delle serie di vegetazione dinamiche e catenali che si possono trovare nell'ambito territoriale;
- definizione della naturalità e dello stato di conservazione della flora, della vegetazione e degli ecosistemi;
- stima della fauna potenziale in funzione degli habitat presenti;
- analisi dei fattori di minaccia e di disturbo.

A differenza di quelle appena citate, risultano invece più legate alla stagionalità le analisi sulla presenza di specie di flora e fauna importanti per la loro rarità, il loro interesse biogeografico o per la loro importanza come bioindicatori.

Il primo gruppo di indagini, unito a una puntuale documentazione bibliografica, può rappresentare una base di conoscenza sufficiente per valutare le priorità e gli ambiti di intervento. Tuttavia, qualora si operasse in ambienti fragili, potenzialmente ricchi di flora e fauna di importanza conservazionistica, o in località per le quali la presenza di tali specie sia stata segnalata in precedenza, non si potrà fare a meno di programmare indagini più mirate. Queste devono prevedere un arco di tempo che, come minimo, includa l'intera stagione più favorevole per rilevarne la presenza (es. periodo di fioritura e fruttificazione per le piante, epoca di transito per gli uccelli migratori, etc.).

Per quanto riguarda la metodologia di studio, l'inquadramento bioclimatico potrà essere ricavato sulla base dei dati termo-pluviometrici calcolando gli indici proposti da Rivas-Martinez (2002), mentre per gli aspetti biogeografici si potrà fare riferimento a Bacchetta et al. (2007).

Sullo stesso documento sono riportate le carte delle serie di vegetazione della Sardegna, che tuttavia, poiché la scala non è di elevato dettaglio (1:250.000), non possono essere utilizzate come una base esaustiva per l'individuazione delle serie di vegetazione su ciascun sito di intervento. A livello puntuale, infatti, si possono rinvenire sul territorio le serie edafoxerofile o edafoigrofile, così come altre serie speciali edafile e mesofile. Tali aspetti, proprio perché spesso localizzati in aree di limitata estensione, non possono essere individuati sulla suddetta cartografia.

Per il riconoscimento delle serie di vegetazione a livello puntuale, un'analisi rigorosa comporterebbe la compilazione di rilievi fitosociologici nel corso dell'anno o, quanto meno, nella stagione più idonea al riconoscimento delle specie caratteristiche di ogni fitocenosi. Tuttavia, una prima analisi sommaria può essere condotta in qualsiasi stagione. La presenza di comunità di boschi e boscaglie climatofile o ripariali permettono, infatti, di ricondurre immediatamente l'ambito di intervento a una determinata serie di vegetazione.

L'individuazione delle serie di vegetazione naturali permette innanzitutto di comprendere, per ogni ambito ecologico, quale sia la tappa matura o la vegetazione potenziale, cioè quell'associazione che si insiederebbe qualora l'assenza di disturbo permettesse un completo sviluppo della successione vegetazionale. Insieme a tale informazione, la ricostruzione di una serie dinamica consente anche di capire quali siano le formazioni seriali che derivano dal degrado della tappa matura.

Dall'esame attento del territorio sarà possibile riconoscere la presenza e distribuzione di tali comunità. Si potrà così ricavare una valutazione generale di naturalità e integrità ecosistemica

anche se le indagini saranno effettuate in periodi dell'anno durante i quali non siano riconoscibili tutte le specie che compongono la cenosi. Si dovrà quindi valutare, caso per caso, se le indagini speditive appena descritte possano essere sufficienti a definire il livello di qualità ambientale o se sia invece indispensabile svolgere analisi più approfondite nella stagione più idonea (o nelle stagioni più idonee).

Per quanto riguarda la vegetazione, il livello di naturalità si indica spesso con una scala numerica che attribuisce il valore più alto alla vegetazione potenziale e punteggi via via più bassi agli aspetti di degradazione più spinta, fino al valore zero generalmente attribuito alle superfici del tutto prive di vegetazione. Malgrado non esista a tal proposito una scala di riferimento universalmente accettata, può essere ugualmente funzionale adottare scale specifiche a livello di bacino o di area vasta di intervento. In questo modo sarà comunque possibile ottenere una classificazione adeguata a riconoscere, tra gli spazi di possibile intervento, quelli più importanti dal punto di vista della qualità ambientale.

Un'attenta analisi vegetazionale non dovrà comunque mai essere trascurata. Se pertanto venisse tralasciata nella fase di valutazione delle priorità, dovrà essere attuata in fase di progettazione preliminare. Ciò che è ancora una volta necessario ribadire, è l'esigenza di effettuare tutte le valutazioni di tipo ecologico in un ambito multidisciplinare che coinvolga i biologi o naturalisti in tutte le fasi, senza limitare il ruolo di tali figure professionali alla valutazione di progetti già elaborati.

Oltre ai suddetti indicatori, rilevabili tramite le indagini biologiche, sono stati inseriti, quali fattori da esaminare, anche i livelli di minaccia e di disturbo. In particolare, per quanto riguarda le opere in ambito fluviale, deve essere misurato il livello d'inquinamento delle acque, che induce ad affrontare anche il problema del ruolo del corpo idrico, e quindi anche della sua sistemazione ambientale, nei confronti dell'autodepurazione delle acque inquinate. In effetti tale argomento, pur essendo tradizionalmente distinto dalla sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, presenta delle strette relazioni con essa, specialmente se indirizzato verso un miglioramento ambientale; le stesse tecniche di IN, infatti, grazie all'introduzione della vegetazione nel reticolo idraulico, possono anche essere opportunamente finalizzate a massimizzare la loro efficacia nei confronti del fenomeno autodepurativo.

Come precedentemente visto, anche nel caso della qualità delle acque sarà indispensabile condurre studi biologici, attraverso la ricerca di organismi bioindicatori (es. IBE). Le analisi chimiche preliminari possono tuttavia fornire un sufficiente quadro valutativo della salute del sistema fluviale nella fase della stima delle priorità di intervento.

Per una valutazione dello stato di qualità dell'ecosistema fluviale nel suo complesso, può essere opportuno ricorrere all'applicazione di metodi strutturati, basati sull'analisi e rilevamento di diversi indicatori, quale in particolare l'IFF (*Indice di Funzionalità Fluviale*⁶).

7.5.1 *Analisi della necessità e fattibilità d'intervento*

Questa fase è molto delicata, poiché orienta l'approccio e la tipologia di intervento, magari già da subito verso l'applicazione dell'IN. Viene normalmente svolta ad opera del RUP nel "documento preliminare" definito dal DPR 554/99.

La decisione se e in che modo intervenire deve essere effettuata con "cognizione di causa", per evitare inutili danni ambientali, efficacia non ottimale e spreco di denaro; per questo, in casi di dubbio o complessità o pregio ambientale o alto rischio, può essere opportuno coinvolgere specialisti esterni.

7.5.2 *Inquadramento del problema e delle soluzioni*

L'AREA DI PROGETTO

Se il sito di intervento è definito con precisione, l'area di progetto corrisponde a quella occupabile dall'opera e dalle connesse operazioni necessarie per la sua realizzazione. Infatti occorre tenere presenti le aree interessate dalle attività di cantiere, di prelievo, lavorazione e movimentazione del verde e dei materiali, di eventuale riporto o reperimento di terreno. A priori però, l'area di progetto non è detto sia già ben identificabile nella fase iniziale: in sede di definizione delle soluzioni si potranno anche individuare più aree da indagare, mentre le modalità e le esigenze di esecuzione saranno definite solo a progetto esecutivo concluso e riviste anche in sede di realizzazione. Quest'ultimo aspetto può essere trattato dal Piano di coordinamento dei lavori, previsto dalla normative in materia di sicurezza, ove la tipologia di questi lo richieda.

L'AREA DI STUDIO

L'area di indagine, invece, è normalmente diversa da quella di progetto, poiché i fattori da analizzare per il supporto alla progettazione presentano un raggio di influenza maggiore.

⁶ L'IFF si presta bene sia come indice di stato dell'ambiente, sia come strumento di cambiamento. Questo metodo, infatti, non si limita a dare valutazioni sintetiche sulla funzionalità fluviale e preziose informazioni sulle cause del suo deterioramento, ma fornisce anche indicazioni precise per orientare gli interventi di riqualificazione e stimarne preventivamente l'efficacia. Per la sua applicazione l'IFF non richiede strumenti particolari o sofisticati: esso ha la forma apparente di un banale questionario, ma rappresenta una guida ad una vera e propria indagine ecologica, nella quale il requisito primario è costituito dalla competenza degli operatori addetti alle rilevazioni (da: L'ecosistema fluviale, di K. Bonora e R. Rocco, Regione Valle d'Aosta)

Gli interventi di IN sono caratterizzati da un forte rapporto con l'ambiente, sia perché quest'ultimo influisce sulle opere sia, viceversa, in quanto le opere condizionano l'assetto ambientale (solitamente in senso positivo, ma non è detto).

Occorre pertanto analizzare tutti i fattori che possono interagire con gli interventi, calandosi nel contesto ambientale, ma anche sociale, nel raggio di influenza corrispondente a ciascuno di tali fattori. Alcuni di essi, infatti, vanno valutati per un intero bacino idrografico (p.e. l'idrologia), altri per zone più ristrette (p.e. gli aspetti geotecnici), altri ancora richiedono tanto una trattazione a larga scala quanto una a raggio ridotto (p.e. gli aspetti floristici e vegetazionali, bioclimatici, faunistici). Ciascun raggio di influenza dipende dalle caratteristiche sia del territorio sia dell'intervento, in modo indipendente l'uno dall'altro; per esempio certe tipologie di opere di modeste dimensioni (quali le difese longitudinali di sponda) possono determinare un'influenza sull'ecosistema limitata nello spazio, mentre la loro influenza sui livelli idrici può essere significativa. In un caso del genere sarà pertanto necessario conoscere l'idrologia dell'intero bacino, ma potrà essere sufficiente valutare indicatori biologici locali.

Per i progetti di opere idrauliche in alveo o che comunque possono essere influenzate da variabili di natura idraulica, occorre rapportare l'opera al bacino idrografico di competenza, del quale si dovrà stimare in particolare il contributo delle portate idriche di piena presso le sezioni idrauliche interessate.

L'inquadramento nel contesto di bacino, così come quello rispetto ai confini amministrativi del territorio, servirà anche per la verifica delle interazioni con gli strumenti di pianificazione e la gestione delle procedure autorizzative (piani, normative, competenze, vincoli). La segnalazione del sito (o dei siti) interessato dall'intervento dovrà essere prodotta su una cartografia a grande scala (corografia, normalmente 1: 25.000) e a scala di maggior dettaglio (normalmente 1: 5.000 e 1:2.000).

Sempre relativamente alle relazioni idrauliche, ma anche geomorfologiche, l'area di studio deve estendersi ai confini del prevedibile effetto che determina l'opera sulle dinamiche fisiche cui è sottoposto il sito. Per esempio una difesa spondale può comportare il cambiamento delle azioni idrauliche e delle dinamiche geomorfologiche nel tratto subito a valle e un insieme di difese possono determinare un cambiamento significativo delle condizioni idrauliche anche per tutto il tratto vallivo del corso d'acqua e, in parte, del territorio circostante.

Per quanto concerne invece le componenti biologiche, non ci si deve limitare all'analisi del sito specifico, ma è opportuno prendere in considerazione il ruolo che può assumere l'intervento di IN nei confronti del corridoio ecologico e più in generale dell'ecosistema o dell'habitat in cui si inserisce.

L'area di indagine dovrà estendersi all'ambito urbanizzato coinvolto se ricadente in prossimità o all'interno di aree urbanizzate, valutando le potenzialità e le interrelazioni che possono attivarsi per soddisfare anche particolarità locali, fruizione delle aree di intervento, ecc.

L'analisi multicriterio per la valutazione delle alternative di intervento

Il Regolamento della Legge Quadro sui Lavori Pubblici richiama principi di valutazione delle "problematiche di ordine ambientale" già in sede di programmazione degli interventi (Art. 13), e in sede progettuale (Capo II: La progettazione, Art. 15: disposizioni preliminari) prescrive in particolare che (comma 12 dell'Art. 15): "Qualora siano possibili più soluzioni progettuali, la scelta deve avvenire mediante l'impiego di una metodologia di valutazione qualitativa e quantitativa, multicriteri o multiobiettivi, tale da permettere di dedurre una graduatoria di priorità tra le soluzioni progettuali possibili".

Tale modo di operare risulta particolarmente aderente nell'ambito dell'approccio applicativo della riqualificazione idrogeologica-ambientale, che di fatto è basata sul perseguimento del miglior compromesso possibile tra esigenze antropiche e dinamiche naturali. In effetti se la procedura definita dalla legge fosse applicata adeguatamente, si tenderebbe a indirizzare le scelte progettuali, in termini sia di tecniche che di localizzazioni, verso l'impiego di soluzioni a basso impatto ambientale (si pensi per esempio al caso delle casse di espansione, alla determinazione di tratti fluviali da assoggettare a difese spondali, alle opere di consolidamento di scarpate e versanti).

SCELTA DELLE TECNICHE D'INTERVENTO

Va ricordato, innanzitutto, che le tecniche dell'IN non sono applicabili sempre e dovunque: esse presentano invece limiti di applicabilità, la cui esatta conoscenza è preconditione per una corretta progettazione. Per comprendere la potenzialità applicativa delle tecniche di IN o la necessità di prevedere soluzioni integrate, occorre quindi premettere agli studi progettuali alcune verifiche preliminari, prevalentemente di natura idraulica, geotecnica e vegetazionale.

Partendo dai risultati della prima fase di analisi del problema, degli obiettivi e del territorio, si potranno definire, sulla base di valutazioni di massima e dell'esperienza dei progettisti oltre che con l'aiuto delle linee guida, le tipologie di intervento che si ritengono adeguate, ovvero la classe di tecniche applicabili per ciascun contesto d'intervento, e procedere nell'impostazione degli studi e dei progetti. Saranno poi queste successive valutazioni, anche quantitative, che permetteranno la verifica dell'idoneità di tali ipotesi, e quindi potranno modificarle o affinarle, fornendo una più precisa definizione delle tecniche stesse.

Dopo qualche anno dalle prime applicazioni pilota, ovvero quando ci sarà una classificazione tipologica acquisita attraverso il monitoraggio, si potrà orientare la scelta più rapidamente.

7.5.3 Programmazione del lavoro

ORGANIZZAZIONE DELLE FASI PROGETTUALI

Le modalità organizzative di lavoro si devono programmare sulla base dei dati preliminari che individuano, in linea di massima, la tipologia di problema e di intervento. Spesso, invece, l'organizzazione e la struttura tecnica della progettazione tendono a essere predefiniti e standardizzati. Ciò non solo determina inefficienze, ma anche il rischio di intraprendere scelte sbagliate anche sul piano tecnico.

In particolare, è importante pianificare le indagini, in quanto queste richiedono dei tempi da valutare attentamente, non solo per motivi amministrativi o in funzione di scadenze finanziarie, ma soprattutto perché, specie per gli indicatori ambientali, la validità dei dati raccolti può dipendere dai periodi stagionali. Lo stesso problema riguarda l'esecuzione delle opere a verde, che deve essere effettuata in precise stagioni: in particolare, le parti vegetali che fungono da talee debbono essere poste in opera in periodo di stasi vegetativa, mentre le semine devono essere realizzate all'inizio della stagione vegetativa e in condizioni di disponibilità idrica.

E' chiaro come tali vincoli siano di fondamentale importanza e comportino una verifica preventiva della compatibilità rispetto alle esigenze progettuali e un'impostazione efficiente delle attività e dell'iter di esecuzione.

Un altro aspetto organizzativo è quello della formazione del gruppo di lavoro. Essendo i progetti di IN a carattere multidisciplinare, ma a composizione variabile in funzione della casistica, si dovrà stabilire di volta in volta, a seconda del tipo di progetto e delle caratteristiche geografiche, quali competenze dovranno essere coinvolte sia per le indagini che per il supporto alla progettazione.

Occorre quindi pianificare le modalità di gestione delle varie fasi di lavoro da parte di ciascun membro del gruppo (ruoli, interazioni, verifiche) in relazione ai tempi di esecuzione del progetto ipotizzato.

ACCORDI CON LA COMMITTENZA E I SOGGETTI COINVOLTI

E' importante stabilire da subito i ruoli operativi della committenza rispetto a quelli dei progettisti, anche se, in linea generale, tali ruoli sono già definiti dalle normative e nella convenzione formale d'incarico professionale stipulata tra le parti. In particolare si dovrà chiarire chi svolge o segue determinate procedure, quali documentazioni o materiali dovrà fornire la committenza, le attività necessarie per la corretta progettazione e i tempi.

Si tenga presente che, ai sensi della Legge Quadro sui Lavori Pubblici, il coordinamento delle procedure autorizzative e formali spetta al Responsabile del Procedimento, che normalmente è

un rappresentante tecnico dell'ente appaltante; di tale lavoro può essere anche incaricato il progettista, che comunque svolge sempre un ruolo di compartecipazione.

Infine, nel corso della procedura e in particolare della progettazione, è importante relazionarsi anche con gli altri enti che entrano in gioco a livello tecnico e autorizzativo, sia per acquisire alcuni dati utili, sia per verificare preventivamente la rispondenza di aspetti tecnici alle leggi e alle opinioni di chi dovrà poi autorizzarle.

VERIFICA DEI PROCEDIMENTI DA ESPLETARE PER LE PROCEDURE AUTORIZZATIVE

(nulla osta, permessi, espropri, ecc.)

Una verifica preliminare deve essere svolta prima di procedere alla progettazione, sia per valutare i tempi necessari per l'espletamento dell'iter, sia per conoscere quali aspetti devono essere opportunamente trattati (e in quali modi e quantità), sia per sapere quante copie degli elaborati devono essere prodotte e a chi dovranno essere inviate, in relazione a quanto normalmente richiesto da ciascun soggetto autorizzatore. Quando saranno stati definiti tipologie ed estensione degli interventi si definiranno le competenze amministrative interessate e le relative modalità per l'ottenimento delle autorizzazioni.

In particolare per le opere di IN, a seconda del caso, ovvero dell'ambito di intervento e della sua tipologia, si dovranno dimostrare opportune verifiche sulla compatibilità rispetto in generale ai vincoli territoriali, agli strumenti urbanistici, alla sicurezza e alle condizioni idrauliche richieste od opportune, alla stabilità geotecnica, alle resistenze meccaniche, alla rimovibilità, inserimento o reperibilità delle specie vegetali, ecc.

Per progetti di una certa complessità, tenendo anche conto dell'innovazione che spesso caratterizza i progetti di IN, sarà quindi utile un confronto preliminare con alcuni enti preposti alle autorizzazioni, in particolare per verificare problematiche specifiche segnalate, individuare assieme un primo screening delle possibili alternative, eventuali opinioni ostative rispetto a certe scelte, dettagli sulle modalità di studio e di presentazione del progetto richieste.

Gli interventi di IN presentano un profondo rapporto con il territorio, quindi, in molti casi, implicano, anche in fase progettuale, la realizzazione di attività sul campo e coinvolgono diverse problematiche a livello non solo tecnico, ma anche territoriale.

Un altro aspetto, da esaminare in via preventiva alla fase progettuale, riguarda l'esigenza di permessi per accedere ai luoghi di intervento, ovvero a terreni di proprietà privata, per effettuare sopralluoghi e indagini (ambientali, topografici, geologico-tecnici, ecc.). In alcuni casi occorre richiedere all'ente la produzione di uno specifico permesso, previo accordo o informativa con i proprietari dei terreni interessati. Modalità simili si dovranno adottare in sede di esecuzione dei lavori, in relazione alle aree interessabili dal cantiere e dagli spostamenti e

transiti di automezzi; si dovrà, inoltre, prevedere eventuali forme di indennizzo per danni subiti, che verranno valutati opportunamente al termine dei lavori.

7.6 Raccolta dati preliminare

7.6.1 Premessa

La raccolta della documentazione e il rilievo speditivo sul campo corrispondono alla fase analitica e di acquisizione degli elementi conoscitivi di base della progettazione preliminare, ossia alla fase di analisi e di trasposizione dei dati acquisiti su elaborati grafici e cartografici, funzionale alla definizione del quadro conoscitivo e di prima interpretazione delle condizioni specifiche e di contesto, necessario allo sviluppo delle successive fasi progettuali. Tale momento assume, nel caso della adozione di opzioni di intervento riferibili all'utilizzo di tecniche di IN, una particolare rilevanza, in relazione alle esigenze di approccio contestualistico e di integrazione ecologico-paesaggistica, connaturate a tali modalità progettuali. Di seguito si fornisce un elenco di massima degli elaborati che sarebbe necessario produrre, pur premettendo che, proprio per il ruolo che svolge la progettazione preliminare, alcuni di questi elaborati possono anche risultare superflui o non immediatamente necessari, in funzione delle esigenze poste da ciascuna situazione specifica. Si rimanda ai capitoli specifici la trattazione più approfondita degli argomenti di competenza settoriale richiamati nel seguito.

7.6.2 Raccolta documentazione

Cartografia a grande e piccola scala

A seconda dell'estensione dell'intervento e dell'area che viene progettualmente investita, nella fase di progettazione preliminare può essere opportuno utilizzare:

- la cartografia tecnica regionale o le basi topografiche IGM (scala 1:25.000) quale corografia generale, per l'individuazione dell'intervento nel suo inquadramento all'interno dell'area vasta e/o del bacino idrografico di riferimento;
- la cartografia tecnica regionale (scala 1:5.000 o 1:10.000) per la localizzazione di dettaglio dell'area di intervento e la definizione dei vari tematismi individuati necessari alla rappresentazione dei requisiti di coerenza rispetto agli aspetti programmatici e pianificatori nonché alle determinanti ambientali-paesaggistiche;
- la carta topografica di dettaglio, comunale o specificamente rilevata, in scala 1:2.000 per la misurazione e quantificazione di massima dell'intervento.

Tali cartografie sono generalmente disponibili su supporto informatico, il che consente di acquisire ed elaborare direttamente le stesse all'interno di sistemi digitali di disegno e trattamento dei dati nei formati compatibili con gli standard maggiormente usati in topografia e in progettazione. Sulle carte topografiche è possibile individuare alcuni dei servizi a rete (quali gli elettrodotti Enel), mentre per le servitù e i vincoli connessi a servizi interrati (rete gas, acquedotti) occorre reperire informazioni dagli enti preposti o tramite rilevazione delle cartellinature di segnalazione.

Strumenti urbanistici e di pianificazione

Le cartografie relative agli strumenti di pianificazione urbanistica di scala provinciale (PUP) e comunale (PUC), nonché riferite agli altri piani richiamati all'interno del Capitolo 2.5, ed in particolare ai Piani Stralcio di Bacino, sono strumenti di base essenziali per acquisire le informazioni generali per l'inquadramento e la definizione dei requisiti di coerenza esterna del progetto, in riferimento agli ambiti all'interno dei quali quest'ultimo si inserisce.

Tali cartografie sono ad esempio essenziali al fine della verifica dei vincoli ambientali, insediativi e paesaggistici esistenti, sulle ipoteche pianificatorio-programmatiche poste e sulle aree di prossima urbanizzazione che necessitano specifiche attenzioni in funzione delle esigenze di contenimento dei rischi. Inoltre esse permettono di inquadrare il progetto all'interno di un modello interpretativo ambientale generale, esplicitando, in prima approssimazione, ad esempio le relazioni spaziali del sito di interesse, aree di pertinenza fluviale, destinate a opere di difesa idraulica, di espansione fluviale, etc.

Le analisi e le valutazioni delle informazioni acquisite non escludono la possibilità per il progettista (anzi, il dovere deontologico) di segnalare gli elementi di pericolo o di erronea programmazione territoriale a suo giudizio presenti negli strumenti urbanistici e riguardanti le aree di intervento disciplinate dal suo incarico (edificazioni prossime a fiumi o bacini, infrastrutture collocate con poca attenzione all'impatto ambientale provocato, urbanizzazione di aree a rischio di dissesto idrogeologico, etc.).

Le osservazioni in merito alla congruenza dell'intervento di progetto con le previsioni degli strumenti urbanistici e la segnalazione di eventuali problemi devono trovare trattazione nella relazione di progetto preliminare.

Cartografie catastali e storiche

Le cartografie catastali sono di grande importanza in quanto il regime di proprietà dei suoli è spesso elemento condizionante e determinante rispetto a scelte di programmazione territoriale e progettazione. L'individuazione materiale dei confini demaniali lungo strade, fiumi, litorali è talvolta problematica e uno degli obbiettivi della sistemazione del paesaggio può appunto

essere quello di rendere fisicamente apprezzabili e cospicui i margini di rispetto riferiti a beni pubblici e ambiti fluviali (con siepi, filari, fossi, etc.), funzionalmente alle esigenze di contrasto di fenomeni, ad esempio, di abusivismo o appropriazione indebita.

Le mappe catastali e la cartografia topografica storica (cartografia IGM della fine dell'ottocento o della metà del novecento) confrontate con la situazione attuale costituiscono una formidabile testimonianza delle dinamiche di trasformazione del paesaggio e della sua evoluzione. Conseguentemente sarebbe opportuno che tutti i progetti ricadenti su aree fluviali vi facessero riferimento durante la fase preliminare di progetto al fine di ottimizzare la contestualizzazione fisica dell'intervento.

Sulle mappe catastali è possibile anche verificare eventuali spostamenti dei cigli di sponda o del confine tradizionale delle acque pubbliche e quindi il limite estremo dei fondi agricoli.

Studi e rilievi esistenti

Studi, tesi di laurea, ricerche, precedenti progetti insistenti sull'area di intervento, possono permettere il perfezionamento del quadro conoscitivo e delle problematiche dei luoghi e alleggerire le attività di analisi sul campo riducendone i costi e i tempi spesso lunghi richiesti per le stesse. Inoltre, studi o analisi ambientali preesistenti possono essere testimoni dell'evoluzione storica di un problema (frana, dissesto, erosione), fornendo pure grandezze e misure confrontabili con quelle appositamente predisposte nell'ambito dei progetti, per il dimensionamento degli interventi futuri.

Bibliografia potenzialmente utile

La bibliografia allegata ai progetti è ordinariamente costituita da quei testi o quegli studi citati nel lavoro o utilizzati a giustificazione di particolari scelte. Nel caso di progetti che utilizzano tecniche di IN, si pone il problema di fornire indicazioni di ricerca sia ai progettisti stessi, sia ai soggetti che devono svolgere una funzione di verifica del progetto, sia a quei tecnici che, pur visionando il progetto e occupandosi di problematiche affini, non conoscono i presupposti della disciplina, non hanno esperienza di tali tecniche che sono di introduzione relativamente recente nella maggior parte delle regioni italiane e sentono quindi l'esigenza di approfondire l'argomento. Perciò è bene fornire una bibliografia ricca, che comprenda anche testi non direttamente citati o utilizzati nell'elaborazione progettuale.

Rilievo fotografico

Il rilievo fotografico è necessario nella fase di progettazione preliminare in quanto consente un'immediata visualizzazione e documentazione delle problematiche e dello stato dei luoghi

interessati dal progetto e quindi rappresenta un efficace strumento di comunicazione nei confronti dei soggetti coinvolti nella valutazione e decisione.

Poiché infatti uno degli scopi del progetto preliminare è quello di consentire un confronto con la committenza e un'eventuale presentazione a tutti i soggetti interessati (agricoltori, pescatori, abitanti della zona, associazioni, ecc.), è importante che esso venga costruito in modo da consentire una lettura anche per un pubblico non tecnico. Da questo punto di vista, un buon rilievo fotografico commentato, con espliciti riferimenti ai contenuti del progetto, è uno strumento molto valido.

Per questi motivi, è opportuno che la documentazione fotografica sia ridotta nel numero delle immagini, sia costituita da foto ben leggibili una volta stampate nel formato prescelto e sia organizzata con riferimenti didascalici chiari ed esaustivi, contenenti espliciti riferimenti localizzativi.

Richiesta di informazioni e confronto di opinioni

Nei progetti a forte componente territoriale-ambientale è spesso importante raccogliere informazioni provenienti dalla conoscenza e dall'esperienza di soggetti che vivono sul territorio stesso o che ci lavorano e con portatori di interessi diffusi e loro associazioni; primi fra tutti i tecnici delle amministrazioni pubbliche, ma anche gli agricoltori e i cittadini in genere (memoria storica delle trasformazioni puntuali e degli eventi). Quando da tali occasioni di confronto emergono indicazioni molto precise, suggerimenti utili per orientare il lavoro del progettista, bisogni particolari dei fruitori del territorio interessato, sarebbe utile trasformare tali osservazioni in documenti scritti in modo da poterli inserire tra gli allegati progettuali, esplicitando e rendendo così trasparente il rapporto tra il progettista e la "committenza diffusa".

Tenere conto delle richieste di chi vive sul territorio è corretto anche nell'ottica di un approccio "partecipato", poiché obiettivo degli interventi è in fin dei conti la soddisfazione dei soggetti che ne subiscono le conseguenze. Il grado e il metodo di coinvolgimento del pubblico dipende dall'importanza e dalle implicazioni del progetto. Infatti, molte delle progettazioni di tipo ambientale hanno ricadute dirette sulla collettività in quanto sono esplicitamente finalizzate al miglioramento della fruizione di una certa area, alla razionalizzazione delle attività di pesca o canottaggio lungo i fiumi, alla edificazione di parchi fluviali o di aree naturalistiche a gestione controllata. In questi casi sarebbe fondamentale il rapporto con la fruizione potenziale o attuale, il recepimento di osservazioni e la capacità di progettare in relazione a bisogni e domande reali.

Sulla base di tali considerazioni l'azione di coinvolgimento della comunità locale può essere definita secondo un percorso partecipativo finalizzato all'attuazione di un processo di ascolto principalmente in relazione alla:

- esplicitazione delle criticità, dei punti di forza e delle opportunità riguardanti la valorizzazione e gestione del proprio territorio, da utilizzare per la costruzione delle opzioni progettuali;
- condivisione degli obiettivi della strategia progettuale e dei contenuti tecnici nella fase di elaborazione preliminare del progetto.
- Da un punto di vista operativo può risultare utile per l'attuazione del percorso partecipativo strutturato:
- avviare un confronto e un dialogo con gli attori locali coinvolti, in una prospettiva di valorizzazione delle esperienze del territorio e delle capacità dei saperi tradizionali del luogo;
- creare luoghi strutturati di discussione che consentano di proseguire il coinvolgimento degli attori locali e del pubblico interessato nella fase di attuazione delle soluzioni proposte nell'ambito di eventuali Progetti Pilota.
- promuovere tavoli di progetto, quale luogo di condivisione e confronto sulle strategie di intervento, sulle modalità operative, sui requisiti progettuali e proposta di iniziative connesse alla realizzazione del programma di intervento.

Infine, sarebbe auspicabile che la progettazione e l'attuazione di tale percorso vedesse coinvolte figure esperte nella facilitazione di gruppi di lavoro in grado di individuare tecniche di progettazione partecipata idonee a ciascun caso specifico.

Prezzari

Nella fase di analisi dei costi, il riferimento obbligato per il progettista risultano essere i prezzari regionali, in particolare quelli specifici per l'ingegneria naturalistica e per le opere agricolo-forestali e i prezzari delle associazioni di categoria.

Nella redazione di progetti di ingegneria ambientale e naturalistica si utilizzano però spesso materiali particolari di provenienza locale, o legati a specifiche circostanze di approvvigionamento (paleria, pietrame da cave locali, piante, sementi, etc.). I prezzi di tali materiali possono quindi distaccarsi in maniera sensibile, verso l'alto o verso il basso, dai prezzi ufficiali di riferimento o da quelli di associazioni di categoria. E' quindi opportuno che, già in fase di progettazione preliminare, si verifichi se le condizioni stazionali comportano difficoltà o vantaggi per le imprese esecutrici, reperendo, con veloci indagini, informazioni sui prezzi di mercato delle tecniche e dei materiali utilizzati.

Verifica della disponibilità di materiali e competenze

I progetti fondati sull'uso dell'IN presuppongono la disponibilità di materiale vivo o morto usualmente non presente sui mercati e la presenza di maestranze, forestali e tecnici del verde, capaci ed esperte. Nel progetto preliminare rientra anche la verifica sulla presenza di queste due condizioni, che vanno dettagliate e relazionate.

Tra i materiali "fuori mercato" rientrano le ramaglie di specie vegetali riproducibili per talea (in genere di specie dotate di vigoria vegetativa e di capacità di emissione di radicazione avventizia, quali salici, pioppi, tamerici, rosmarino, etc.) e le ramaglie morte di specie legnose di dimensioni ridotte. Alla carenza in zona di tali materiali si può fare fronte solo in parte in quanto il costo del trasporto incide talvolta in maniera significativa sul costo del materiale. Inoltre si ribadisce che uno dei principi fondamentali dell'IN è quello di utilizzare materiale vegetale di provenienza certificata, prossimo al sito di cantiere e comunque reperito in stazioni fitoclimaticamente uguali a quella di progetto.

Motivi di carattere paesaggistico-ambientale suggeriscono poi di utilizzare terreni e pietrami di provenienza locale, che possiedono le caratteristiche compatibili con le condizioni stagionali.

La diffusione di tecniche di ingegneria naturalistica costituisce una riserva potenziale di materiale vivo o morto e il suo approvvigionamento può essere facilitato dalle necessarie opere di manutenzione, in particolare nei primi anni di monitoraggio.

7.6.3 Studi e rilievi preliminari

Nella fase della progettazione preliminare occorre eseguire rilievi sul campo che possano consentire misurazioni di larga massima, in quanto l'importo economico degli interventi previsti va quantificato con una certa precisione. Tali rilievi non sono sovente associati a misurazioni di dettaglio, che vengono generalmente rinviate alla fase della progettazione definitiva. Infatti, il ridotto approfondimento tecnico per la redazione della progettazione preliminare è motivato dal fatto che poiché la fase preliminare corrisponde a un momento di interlocuzione tra più soggetti e non sempre tutte le ipotesi presentate vengono poi perseguite e realizzate, ovviamente non è opportuno approfondire sino al dettaglio tanto gli elementi di analisi e rilievo quanto gli elementi di progettazione. Tuttavia, la progettazione preliminare deve essere svolta con notevole cura dal punto di vista della verifica di fattibilità delle scelte e di individuazione delle strategie e soluzioni progettuali. Ciò è particolarmente vero per il campo di applicazione degli interventi di difesa del suolo, rispetto ai quali gli orientamenti generali spingono verso uno specifico incremento del livello qualitativo delle prestazioni. Si noti, a questo riguardo, che le Norme di Attuazione del P.A.I. già prescrivono che gli studi di compatibilità (geologica e geotecnica ed idraulica) ai sensi degli artt. 24 e 24 e dell'Allegato F, siano elaborati nella fase

preliminare di progetto (ma fino ad oggi ciò non ha trovato la pratica applicazione a causa della difficoltà di ottimizzare la procedura amministrativa nei riguardi della copertura economica delle prestazioni richieste, in particolare quelle relative agli accertamenti geotecnici e/o geognostici).

Il lavoro di progettazione deve quindi contare su una serie di conoscenze acquisite in campo, oltre che tramite analisi documentale e cartografica e confronto fra i soggetti coinvolti (come trattato sopra), conoscenze che, compatibilmente con la rapidità di acquisizione e il ridotto costo di esecuzione, consentano una valutazione e misurazione sufficientemente attendibile degli interventi.

Tali rilievi sono costituiti da ricognizioni in campo, dalla raccolta di un'adeguata documentazione fotografica appoggiata su cartografia esistente, da rilievi topografici di ridotta estensione, dal tracciamento di sezioni idrauliche tipo, ove possibile e opportuno, da disamine della flora e della vegetazione del luogo, dalla raccolta di cartografie o documentazioni iconografiche storiche (per verificare le dinamiche naturali, etc.), dal reperimento di informazioni cartografiche sul regime di proprietà, sulle reti di servizi passanti nelle aree di progetto e sulle servitù a queste collegate.

Tuttavia, laddove il problema e la soluzione appaiano al progettista sufficientemente definiti da formulare un'unica ipotesi progettuale, e laddove esista una certa sicurezza sulla successiva realizzazione della progettazione esecutiva e sulla cantierizzazione finale delle opere, sarebbe sempre buona norma per il progettista conferire un incarico specifico per il rilievo topografico puntuale dell'area di intervento, in modo da poter lavorare sin da subito su una base cartografica precisa.

Anche il grado di approfondimento degli studi di supporto alla progettazione preliminare (ambientali, vegetazionali, geologici, idraulici, socio-economici, ecc.) dipende dalla situazione e dalle caratteristiche dell'opera. È comunque importante evitare il rischio di interpretazioni troppo superficiali di problematiche che poi possono comportare difficoltà nelle fasi di progettazione definitiva o, addirittura, compromettere la fattibilità dell'intervento.

Ovviamente, le modalità con cui si effettueranno le suddette attività e il loro grado di approfondimento dipenderanno essenzialmente dalla tipologia di progetto in funzione delle caratteristiche del contesto di relazione di quest'ultimo, ovvero, in particolare, dagli obiettivi principali che esso dovrà perseguire. Per esempio, se le finalità sono esclusivamente di consolidamento di suoli oppure se sono anche di rinaturalizzazione le indagini sugli aspetti ecologici potranno essere anche radicalmente diverse.

7.7 Studi e rilevamenti di dettaglio

7.7.1 Premessa

Si presenta di seguito una rassegna delle attività di supporto alla progettazione delle opere di IN sulla base dell'esperienza progettuale condotta dagli scriventi, al fine di offrire una traccia tipica. Ciascun tecnico potrà poi adottare modalità e metodi che ritiene più adeguati.

Elementi tecnico-scientifici di dettaglio sulle singole problematiche di analisi, studio e valutazione dei diversi indicatori, si possono reperire nella bibliografia riportata più avanti o nelle pubblicazioni indicate. Per una ricerca rapida si può fare riferimento al sito specifico della Regione Lazio, in particolare ai manuali della stessa Regione e alle "altre pubblicazioni" scaricabili dalla pagina: http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica

7.7.2 Rilievi topografici

I rilievi topografici puntuali nelle aree specificamente interessate dal progetto sono sempre necessari e sono finalizzati alla restituzione di planimetrie e sezioni localizzate; la scala prescelta varia a seconda dell'estensione, soprattutto per la planimetria.

Per ciò che riguarda le sezioni, poiché costituiscono elaborato di supporto anche alla fase di cantiere, vi è la necessità di consentire la percezione esatta delle modificazione del profilo dei suoli o delle condizioni idrauliche; perciò si possono avere restituzioni di stampa a scala 1:100, 1:50, 1:20 o addirittura 1:10; la scala 1:200 per il rilievo di sezioni si giustifica solo quando il fronte di eventuali movimenti di terra è tanto esteso da non poter essere riportato nelle scale suddette se non con superfici di stampa estese e ingestibili praticamente.

Da quanto detto emerge la convenienza di fare riferimento a tecnici o ditte specializzati in rilievi di spazi aperti, tendenzialmente per sistemazioni agricolo-forestali e idrauliche, il che garantirebbe l'adeguato rilievo degli elementi di vegetazione esistenti in campo.

I rilievi per opere ambientali quali quelle di IN devono tenere conto, oltre che dei convenzionali profili di terreno, di tutti quegli elementi che possono interessare la realizzazione e lo sviluppo ambientale dell'intervento. Il profilo del suolo deve essere ben riprodotto (sezioni di dettaglio fitte, che individuino es. lo scalzamento al piede di sponda fluviale) e devono essere rappresentati e ben localizzati: alberature isolate e fasce vegetali (loro tipologia e qualità), manufatti, materiali presenti (p.e. rifiuti), tematismi geologici e pedologici evidenti (rocce affioranti, soprassuolo, loro tipologia), problematiche.

In pratica, l'esecuzione del rilievo topografico dovrebbe essere supportata dagli esperti di settore, che indichino al topografo cosa rilevare e che poi, sul rilievo restituito, riportino i

tematismi di interesse sugli elementi inseriti nel rilievo stesso. In sostanza, non deve trattarsi di un semplice rilievo topografico, ma di un "rilievo topo-tematico ambientale".

7.7.3 *Analisi di carattere abiotico*

STUDI IDROLOGICO-IDRAULICI

Nelle situazioni ove le tecniche di intervento siano suscettibili di far variare in maniera rilevabile le portate a valle e a monte dell'area di progetto o nei progetti più prettamente idraulico-ambientali (realizzazione di casse di espansione, messa in sicurezza di abitati lungo corsi d'acqua, etc.) è ovviamente necessario prevedere uno studio idrologico-idraulico.

La valutazione di alcune grandezze idrauliche è comunque importante, e richiesta, se esse incidono sul funzionamento o la resistenza dell'opera oppure, viceversa, se quest'ultima può determinare una variazione delle stesse grandezze tale da comportare eventuali problemi. In questi casi occorre pertanto produrre opportune verifiche che attestino l'accettabilità, con un certo grado di sicurezza, rispetto alle condizioni stimate, oppure che orientino alla modifica nel dimensionamento o nella scelta delle soluzioni.

Si tenga comunque presente che, quasi sempre, le grandezze in gioco hanno natura stocastica e, soprattutto per le opere di IN, i dati necessari a tarare modelli interpretativi sono essenzialmente carenti, se non mancanti. Quindi si ricorre a osservazioni di riferimento su base statistica e a principi cautelativi.

Se nel progetto preliminare si sono presentate sezioni-tipo della sistemazione idraulico-ambientale prevista, nel progetto definitivo ed esecutivo si devono invece allegare sezioni idrauliche reali, localizzate su cartografia planimetrica e quotate, ed eventuali profili longitudinali dell'alveo. Può allora risultare necessario integrare gli studi idraulico-idrologici già eseguiti in fase di progettazione preliminare con calcoli idraulici rapportati alle sezioni tracciate o con verifiche sulle portate di piena, i livelli e/o le velocità nei punti interessati da sistemazioni o opere collaterali o limitatamente ai tratti critici. Tali verifiche possono essere particolarmente importanti, se non indispensabili, nel caso delle opere trasversali.

In ambito idraulico molto importanti sono: a) la verifica della resistenza meccanica, delle opere di rivestimento e della vegetazione a difesa dall'erosione fluviale, nei confronti dell'azione di trascinarsi della corrente idrica; b) la verifica dell'effetto sul livello idrico dovuto all'ingombro della vegetazione nel tempo.

STUDI GEOLOGICI e GEOTECNICI

Gli studi geologici e geotecnici dovranno accompagnare tutte le fasi della progettazione con i livelli di approfondimento richiesti da ogni fase progettuale (preliminare, definitiva, esecutiva) prevista dalla normativa sui lavori pubblici (D.lgs 163/2006; DPR 554/99).

Per valutare da subito la fattibilità dell'intervento appare importante che già nel progetto preliminare, oltre all'analisi di tipo bibliografico venga definito con precisione il modello geologico del sottosuolo con indicazione dei dissesti in atto o potenziali, allegando la relativa cartografia geologica e geomorfologica alla scala 1:10000.

Negli studi di dettaglio, dovranno essere approfonditi gli studi del progetto preliminare con il rilevamento geologico e l'indagine geotecnica: il primo dovrà consentire di realizzare una cartografia geologica e geomorfologica di dettaglio, alla scala adeguata al tipo di intervento proposto; la seconda è finalizzata alla caratterizzazione dei terreni e dei loro comportamenti rispetto al tipo di intervento, avvalendosi eventualmente di indagini in situ o di laboratorio.

Questi studi dovranno consentire di descrivere:

- Il modello geologico del terreno
- Per i versanti: la dinamica dei dissesti in atto o potenziali, evidenziando gli spessori e le aree di affioramento dei depositi coinvolti sino all'individuazione delle eventuali superfici di scivolamento.
- Per i corsi d'acqua: le dinamiche geomorfologiche, la natura dei depositi attuali e terrazzati, le aree eventualmente inondabili, il tipo di trasporto solido e la presenza di depositi erodibili che possano dar luogo a dissesti delle sponde.
- Le caratteristiche litotecniche dei terreni coinvolti nei fenomeni di instabilità in termini di granulometria, coesione, angolo di attrito, resistenza al taglio etc.
- La circolazione idrica sotterranea.
- Il profilo e le caratteristiche del suolo, illustrando in particolare i fattori che hanno influenza sullo sviluppo della vegetazione (umidità, pietrosità, acidità ecc.).

Dovrà essere inoltre realizzata, in collaborazione alle altre professionalità presenti nel gruppo di progettazione, una cartografia di dettaglio dell'uso del suolo di un intorno significativo.

Gli studi delle dinamiche geomorfologiche e del trasporto solido, che coinvolgono quindi analisi d'idraulica fluviale, sono di grande importanza per la mirata pianificazione e progettazione degli interventi di sistemazione idraulica dei corpi idrici, specie dove non si limitino a semplici consolidamenti puntuali. Principio prioritario della riqualificazione idrogeologica è infatti quello di favorire le dinamiche geomorfologiche del sistema fisico-ambientale, anche ai fini della difesa

idrogeologica stessa salvaguardando e riqualificando il sistema di espansione naturale del corso d'acqua.

Alcune tecniche di IN (cassoni vegetati, palificate, cordonate, etc.) possono essere interpretate come strutture geometricamente e strutturalmente definite, il cui comportamento meccanico può essere quindi modellizzabile matematicamente. Possono essere quindi sottoponibili a verifiche di resistenza e di comportamento sul piano geotecnico attraverso metodi di calcolo convenzionalmente accettati; può quindi essere necessario allegare al progetto tali elaborati di tipo geotecnico ove si prevedano le tecniche summenzionate. Nell'analisi di stabilità di una scarpata o pendio e di stabilità dell'opera di IN ivi inserita, si possono applicare modelli che tengano conto dell'effetto biotecnico offerto dagli apparati radicali delle piante.

Per quel che riguarda gli interventi su argini pensili, su corpi di frana, su cave dismesse o su substrati con problemi di stabilità, la relazione geologica e geotecnica dovrebbe già essere allegata alla progettazione preliminare all'atto di consegna agli enti di controllo e verifica.

STUDI PEDOLOGICI

La conoscenza della risorsa suolo fornisce fondamentali informazioni alla valutazione sulle scelte degli interventi più appropriati da realizzare garantendo la conservazione della risorsa. In particolare, le informazioni pedologiche e quindi la conoscenza dei pedotipi definiti da caratteri chimico-fisici e biologici, la loro valutazione a sostenere determinati usi a discapito di altri e, in particolare, la determinazione dei limiti che si frappongono a taluni usi, consente alla pedologia di essere un elemento di valutazione dell'opera di IN ai fini della sua riuscita.

Elementi quali la profondità, la tessitura, la struttura, la permeabilità, l'erosibilità, la reazione-carbonati, la sostanza organica presente, la capacità di scambio cationico, la saturazione in basi, sono quindi dati indispensabili per valutare la possibilità di realizzazione di un'opera, in considerazione del fatto che l'impiego di materiale vegetale che si dovrà sviluppare è condizionato nell'attecchimento e nella crescita da questi fattori.

Si mette in evidenza che lo studio delle tipologie pedologiche della Sardegna è stato realizzato negli ultimi decenni soprattutto grazie alle ricerche condotte presso le Università isolate, o da parte di altri Enti, Istituti e professionisti pedologi nell'ambito di rilevamenti finalizzati alla realizzazione di opere o di piani locali.

La conoscenza delle informazioni contenute negli studi sui suoli della Sardegna e nella cartografia di settore offre una serie di dati utili in fase preliminare sulla pedologia del sito. In fase di progettazione esecutiva è fondamentale comunque effettuare specifici studi pedologici, al fine di scegliere le specie più idonee all'attecchimento e al successivo sviluppo nel substrato di crescita presente nel luogo di intervento. Nella carta dei Suoli della Sardegna (Aru et al., 1991)

sono state delimitate unità di paesaggio principali differenziate essenzialmente in funzione delle formazioni litologiche prevalenti e sottounità di paesaggio, caratterizzate invece da diverse situazioni altimetriche, morfologiche, di copertura vegetale e di uso del territorio (Classificazioni utilizzate: Soil Taxonomy 1975 e successivi aggiornamenti, Fao-Unesco, Land Capability classification USDA 1961-Klingebiel e Montgomery).

7.7.4 *Analisi di carattere biotico*

INDAGINI GEOBOTANICHE

Le indagini geobotaniche consistono essenzialmente nella redazione di un elenco floristico dell'area di intervento e nella compilazione di rilievi vegetazionali. Tali studi completano l'inquadramento territoriale a livello bioclimatico, biogeografico e delle serie di vegetazione, condotto nella fase di individuazione delle priorità di intervento. Tuttavia, in alcuni casi, come già accennato, anche gli studi di dettaglio su specie e comunità vegetali dovranno essere svolte sin dalla prima fase.

La redazione di un elenco floristico precede generalmente l'analisi vegetazionale. I due tipi di indagine possono anche avvenire, in parte, simultaneamente, ma non è possibile eseguire correttamente uno studio fitosociologico senza una adeguata conoscenza della flora del sito.

L'indagine floristica mira al riconoscimento di tutte le specie presenti in una determinata area e consente di attribuire al sito caratteristiche ambientali di qualità o di degrado a seconda del tipo di spettro biologico, corologico ed ecologico che emerge dal censimento.

Il censimento floristico condotto con criteri rigorosi e scientificamente corretti presuppone, come detto sopra, sopralluoghi realizzati nelle diverse stagioni perché le terofite, le emicriptofite e le geofite possono sfuggire all'osservazione nelle stagioni di stasi vegetativa invernale o estiva. L'aspetto positivo del censimento floristico è la sua potenzialità di fotografare in modo esatto gli aspetti di diversità ambientale di un sito consentendo, con rappresentazioni grafiche degli spettri ottenibili, un'ottima ed immediata visualizzazione di alcune proprietà ecologiche essenziali. Lo spettro biologico fornisce indicazioni su alcuni caratteri del clima e dell'influenza antropica, quello corologico permette una quantificazione delle specie ad ampia distribuzione, endemiche, esotiche, antropocore, etc.; l'aspetto negativo di questo sistema è il suo carattere "statico", che poco informa sulle dinamiche o sulla distribuzione spaziale e sull'abbondanza delle singole specie nell'ambito delle fitocenosi.

L'analisi vegetazionale presuppone invece un approccio di tipo diverso, cioè una indagine sui rapporti ecologici che determinano particolari interrelazioni tra le piante; questo tipo di analisi offre informazioni sulle associazioni vegetali, sui rapporti esistenti all'interno di tali cenosi, sul livello di evoluzione e di maturità dell'associazione medesima.

Il metodo più consolidato e internazionalmente codificato di analisi delle cenosi vegetali è il metodo fitosociologico di Braun Blanquet (1964). Il vantaggio maggiore nell'uso di tale sistema di analisi è dato dalla esistenza di una metodologia di analisi e di restituzione dei dati conosciuta dagli esperti del settore, universalmente accettata come rappresentativa e significativa; altro vantaggio significativo nell'uso di tale sistema è dato dall'esistenza di una nomenclatura codificata che permette di indicare ogni aspetto vegetazionale con un nome universalmente comprensibile. A tali informazioni si uniscono quelle di tipo dinamico che permettono pure di valutare se localmente una determinata fitocenosi presenta specie indicatrici di contatto dinamico con aspetti maggiormente degradati o evoluti.

Il metodo fitosociologico presuppone una serie di rilievi, per ciascuna tipologia vegetazionale, su superfici di rilievo di limitata estensione ed omogenee (superficie minima). Solo il successivo confronto dei risultati, tramite l'apparentamento dei rilievi simili, permette l'attribuzione della formazione rilevata ad un' associazione vegetale riconosciuta.

Un'applicazione speditiva e con minor rigore del sistema può essere costituita dalla diretta caratterizzazione delle associazioni vegetali esistenti sul sito, rilevando aree riconosciute come rappresentative della formazione da parte del rilevatore.

Alle conoscenze ottenute con i sistemi ed i metodi summenzionati sulla vegetazione reale del sito si devono poi aggiungere le informazioni reperite da bibliografia sulle condizioni fitoclimatiche e sulla vegetazione naturale potenziale del luogo, informazioni che raffrontate con i dati di rilievo ci possono consentire di comprendere quanto la situazione reale si discosti da quella potenzialmente propria del sito in caso di assenza di disturbi ed alterazioni antropiche.

La vegetazione naturale potenziale di un sito non comprende solo quelle associazioni che si insiederebbero al termine della successione vegetazionale, ma anche tutte le associazioni pioniere, quelle differenziali, quelle intermedie nella successione: infatti l'evoluzione naturale non è un fenomeno lineare e deterministico, e molteplici fattori possono costituire elemento limitante all'insediamento delle associazioni cosiddette climaciche: tutte queste associazioni sono parimenti "naturali" e compete al progettista scegliere al loro interno quella di cui perseguire la ricostruzione.

L'obiettivo progettuale, infatti, non è sempre costituito dalla ricostruzione delle formazioni forestali dominanti, talvolta il pregio di determinate associazioni vegetali è dato proprio dal loro carattere debole e recessivo, dal loro essere legate ad habitat particolari oggi rarefatti, dal loro mantenimento di caratteristiche naturali nel popolamento e nella struttura.

In ogni caso le conoscenze acquisite in campo e da bibliografia sulla vegetazione sono preziose per orientare la scelta delle specie di progetto e sono perciò necessariamente da prevedere, anche se nel grado di rigore e di precisione volta a volta consentito dai tempi di progettazione,

dalle risorse e dai tempi a disposizione, dalla portata degli interventi, dal grado di naturalità più o meno spiccato del contesto territoriale di intervento.

ANALISI ECOSISTEMICA

“Un sistema ecologico o ecosistema è un'unità che include tutti gli organismi che vivono insieme (comunità biotica) in una data area, interagenti con l'ambiente fisico, in modo tale che un flusso di energia porta a una ben definita struttura biotica e a una ciclizzazione dei materiali tra viventi e non viventi all'interno del sistema (biosistema)” (Odum, 1983). L'ecosistema è per definizione un insieme di ecotopi, cioè un insieme di caratteri morfologici o geologici spazialmente definiti (geotopi) ai quali corrispondono cenosi vegetali e catene trofiche specifiche (biotopi). Il paesaggio aperto nel quale si interviene con opere di IN può essere a sua volta costituito da agro-ecosistemi oppure da ecosistemi forestali oppure ripariali, palustri, litoranei, etc.

L'analisi degli ecosistemi sui quali si interviene è quindi un lavoro necessario a orientare la scelta delle sistemazioni del suolo, delle regimazioni idrauliche, delle specie vegetali da impiegare nel progetto. L'analisi può essere costituita da una semplice descrizione all'interno del testo della relazione di progetto, da una restituzione cartografica che individui sul rilievo topografico il confine approssimativo tra i diversi ecosistemi (fronte del bosco, linea di sponda, etc.), da un approfondimento analitico sulla fauna presente in sito, da una ricerca bibliografica sulle caratteristiche del sistema di paesaggio nel quale si interviene, ecc.

6.3.3 Applicazione al territorio sardo

Si elencano di seguito i dati e gli studi che si ritengono indispensabili per comprendere ciascuna casistica inquadrata in precedenza e per verificare le condizioni di applicabilità dell'IN nella specifica situazione del luogo d'intervento. Tutte le indagini indicate dovranno sempre essere precedute da un inquadramento bioclimatico e biogeografico del sito, anche al fine di ottenere indicazioni utili sulle serie di vegetazione presenti nel sito di intervento. Per queste ultime, malgrado le suddette analisi di inquadramento possano spesso fornire indicazioni sufficienti a prevederne la tipologia, si dovrà comunque verificare l'effettiva potenzialità del territorio interessato dalle opere nella sua eventuale eterogeneità morfologica ed edafica.

La necessità o meno di studiare e approfondire certi temi dipende in particolare dall'ambiente in cui si colloca l'intervento e dalle dimensioni e tipologia (ovvero grado di impatto potenziale) dello stesso. Gli studi di seguito elencati potranno essere integrati, in situazioni di elevata naturalità o fragilità ambientale, così come in particolari contesti territoriali, da ulteriori analisi di maggiore dettaglio individuate per ciascuna situazione.

CONTESTI	STUDI	DATI DA RACCOGLIERE
A. corsi d'acqua naturali	<p>Elenco floristico del sito</p> <p>Studio delle formazioni vegetali e della loro disposizione catenale</p> <p>Studio delle comunità bentoniche di macroinvertebrati (IBE)</p> <p>Analisi della fauna vertebrata con particolare attenzione a uccelli acquatici, rettili e anfibi</p> <p>Analisi di dettaglio dei processi d'instabilità geomorfologica</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Ananmesi dei principali eventi alluvionali</p> <p>Caratteri sedimentologici e geotecnici dei litotipi interessati dai processi di erosione o di accumulo nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dal P.S.F.F.</p>
B. corsi d'acqua canalizzati o arginati	<p>Elenco floristico del sito e dei contesti naturali nei tratti limitrofi del corso d'acqua</p> <p>Studio delle formazioni vegetali naturali e della loro disposizione catenale nei tratti limitrofi del corso d'acqua</p> <p>Analisi di dettaglio dei processi d'instabilità geomorfologica sui manufatti</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Ricostruzione storica degli interventi di artificializzazione</p> <p>Caratteri sedimentologici e geotecnici dei litotipi interessati dai processi di erosione o di accumulo nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dal P.S.F.F.</p>
C. bacini artificiali e canali di bonifica	<p>Elenco floristico del sito e dei contesti naturali nei tratti limitrofi del corso d'acqua</p> <p>Studio delle formazioni vegetali naturali e della loro disposizione catenale nei tratti limitrofi del corso d'acqua e dello specchio acqueo</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Ricostruzione storica degli interventi di artificializzazione</p> <p>Caratteri sedimentologici e geotecnici dei litotipi interessati dai processi di erosione o di accumulo nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dal P.S.F.F.</p>
D. versanti e costoni rocciosi su abitati	<p>Elenco floristico del sito</p> <p>Studio delle formazioni vegetali</p> <p>Analisi della fauna vertebrata con particolare attenzione agli uccelli nidificanti sulle falesie</p> <p>Analisi di dettaglio del contesto litologico, del drenaggio superficiale e dei processi d'instabilità geomorfologica</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Dati geologico-strutturali degli ammassi rocciosi interessati dai dissesti, con i metodi propri dell'analisi geomeccanica</p>
E. viabilità e scarpate stradali	<p>Elenco floristico delle aree limitrofe</p> <p>Studio delle formazioni vegetali nelle aree limitrofe</p> <p>Analisi dei corridoi ecologici per la fauna vertebrata terrestre</p> <p>Analisi di dettaglio del contesto litologico, del drenaggio superficiale e dei processi d'instabilità geomorfologica</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Dati geologico-strutturali degli ammassi rocciosi interessati dai dissesti, con i metodi propri dell'analisi geomeccanica</p> <p>Dati geotecnici delle terre</p>
F. miniere, cave, discariche e colmate	<p>Elenco floristico del sito e delle aree limitrofe</p> <p>Studio delle formazioni vegetali presenti nel sito e nelle aree limitrofe</p> <p>Analisi di dettaglio del contesto litologico, del drenaggio superficiale e dei processi d'instabilità geomorfologica</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Cartografia storica</p> <p>Dati geologico-strutturali degli ammassi rocciosi interessati dai dissesti, con i metodi propri dell'analisi geomeccanica</p> <p>Dati geotecnici delle terre</p> <p>Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea</p>
G. dune e litorali sabbiosi	<p>Elenco floristico del sito</p> <p>Studio delle formazioni vegetali e della loro disposizione catenale</p> <p>Studio geomorfologico e morfodinamico generale del contesto fisiografico di riferimento e di dettaglio nell'ambito dei processi propri del dominio eolico</p> <p>Studio diacronico della linea di costa e del compendio dunare</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Dati anemologici</p> <p>Dati granulometrici e sedimentologici</p> <p>Dati plano-altimetrici di dettaglio</p> <p>Cartografia storica</p>
H. falesie costiere	<p>Elenco floristico del sito</p> <p>Studio delle formazioni vegetali</p> <p>Analisi della fauna vertebrata con particolare attenzione agli uccelli nidificanti sulle falesie</p> <p>Analisi di dettaglio del contesto litologico, del drenaggio superficiale e dei processi d'instabilità geomorfologica</p> <p>Studio diacronico della linea di costa</p>	<p>Dati meteo-climatici</p> <p>Dati anemologici</p> <p>Dati geologico-strutturali degli ammassi rocciosi interessati dai dissesti, con i metodi propri dell'analisi geomeccanica</p>

I. zone umide e foci fluviali	Elenco floristico del sito Studio delle formazioni vegetali e della loro disposizione catenale Analisi della fauna vertebrata con particolare attenzione agli uccelli acquatici, all'ittiofauna, all'erpetofauna e gli anfibi. Verifica condizioni idrogeologiche (presenza della falda o meno). Studio diacronico della linea di costa	Cartografia storica Anamnesi dei principali eventi alluvionali Dati meteo-climatici Caratteri sedimentologici e geotecnici dei litotipi interessati dai processi di erosione o di accumulo nelle fasce di pertinenza fluviale così come definite dal P.S.F.F. Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea
-------------------------------	---	---

7.7.5 *Analisi dei fattori antropico-culturali*

Gli aspetti di degrado paesaggistico e ambientale presenti nei siti di intervento dovrebbero essere rilevati e restituiti su base cartografica (nel rilievo topografico puntuale) in modo da poter calcolare e dimensionare gli interventi di ripristino e recupero, che devono sempre rientrare fra gli obiettivi dei progetti di sistemazione ambientale.

In particolare nelle aree sub urbane o urbanizzate si dovranno rilevare, oltre agli elementi caratterizzanti l'intervento di ripristino o riqualificazione fluviale, gli elementi dell'intorno che caratterizzano l'insediamento. Ciò riferito agli utilizzi delle aree, agli usi ed alle relazioni esistenti tra ambiti urbanizzati ed ambiti fluviali, alle relazioni sociali degli abitanti ed alle potenzialità che l'intervento di IN può generare per migliorare la fruizione integrando paesaggio fluviale con paesaggio urbano.

Le analisi dovranno essere svolte con gli approfondimenti adeguati ed in base alle dimensioni dell'intervento da attuare.

In ogni caso lo sforzo preliminare di indagine, sia che si tratti di aree urbanizzate o non urbanizzate, risulta utile per la predisposizione della Relazione Paesaggistica prevista in tutti i casi di presenza del vicolo paesaggistico.

Purtroppo gli interventi di tipo idraulico o i cantieri di opere pubbliche sono sovente essi stessi fonte dell'innescò di fenomeni di degrado, in quanto presuppongono la rimozione della vegetazione forestale, lasciano spesso intatte baracche o costruzioni fatiscenti e abbandonano poi il terreno denudato collaterale alle opere alla conquista ed alla mercé di specie vegetali nitrofile spesso alloctone.

Gli elementi di degrado non devono essere confusi con i fenomeni naturali di erosione o di instabilità, rispetto ai quali si deve intervenire con le opere di consolidamento o rivestimento per salvaguardare interessi antropici. Il degrado paesaggistico-ambientale è piuttosto il risultato del sommersi di incuria e abbandono del paesaggio storico, di interventi distruttivi sul territorio, di elementi costruiti che banalizzano e semplificano il paesaggio, di usi impropri, quali discariche abusive o costruzioni provvisorie in materiali di risulta. Il degrado può anche essere innescato da errate forme di governo della vegetazione.

In generale, le condizioni di degrado caratterizzano tutti quei luoghi periferici all'urbanizzato o compresi nei coltivi o in aree a basso livello di antropizzazione, nei quali la percezione collettiva assimila il territorio pubblico a una sorta di "res nullius". Talvolta, i progetti di sistemazione ambientale possono riscattare questi territori restituendo loro caratteri naturalistici di pregio, potenzialità di fruizione, pulizia e decoro.

Particolare importanza, e quindi anche specificità, possono assumere i rilievi nel caso di progetti pilota o di ricerca, al fine di disporre di documentazione dettagliata per effettuare confronti nel tempo delle diverse situazioni, oltre che per motivi promozionali e di comunicazione.

7.8 Contenuto della Progettazione

7.8.1 Criteri generali e aspetti giuridici

In termini generali, nella redazione dei progetti di IN, sulla base della complessità delle opere e delle caratteristiche del sito, sono da privilegiare gruppi di lavoro interdisciplinari che prevedano, come figure di progettazione o come consulenti, competenze specifiche nel campo delle scienze naturali e del paesaggio.

L'articolazione, la struttura e gli obiettivi delle diverse fasi della progettazione sono definite, come già indicato, dal D.Lgs. n.163 del 2006. In particolare, sono previste tre fasi di progettazione, corrispondenti a rispettivi tre livelli di approfondimento e definizione: preliminare, definitiva, esecutiva. Si rimanda quindi alla suddetta normativa (Art. 16) e al suo Regolamento attuativo (DPR 554/99) per le procedure e le formalità da espletare. Nel seguito si daranno quindi per scontate queste ultime mentre ci si soffermerà su quegli aspetti a cui si dovrà dare particolarmente attenzione per i progetti di IN.

A tal proposito, in linea generale, l'Articolo 15 del suddetto Regolamento dispone quanto segue:

- "La progettazione è informata, tra l'altro, a principi di minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni nel tempo.
- Il responsabile del procedimento cura la redazione di un documento preliminare all'avvio della progettazione con allegato ogni atto necessario alla redazione del progetto....Il documento preliminare (...) riporta fra l'altro l'indicazione a) della situazione iniziale e della possibilità di far ricorso alle tecniche di IN; (...) h) degli impatti dell'opera sulle componenti ambientali (...)

- I progetti (...) sono redatti (...) in modo da assicurare il massimo rispetto e la piena compatibilità con le caratteristiche del contesto territoriale e ambientale in cui si colloca l'intervento, sia nella fase di costruzione che in sede di gestione.
- Gli elaborati progettuali prevedono misure atte ad evitare effetti negativi sull'ambiente, sul paesaggio (...) in relazione all'attività di cantiere"

Si sottolinea l'importanza di tali prescrizioni, ovvero la rivalutazione del ruolo del progettista, che assume quindi il diritto/dovere di prevedere soluzioni ottimali a livello ambientale. Nel campo dell'IN, ciò significa che il progettista, ovunque possibile (altrimenti occorre dimostrare il contrario), deve applicare tali tecniche.

Maggior voce in capitolo quindi al progettista, ma anche maggior possibilità da parte della popolazione di pretendere scelte di un certo tipo.

I progettisti tengano però presente che, secondo questa logica, aumenta, allo stesso tempo, la responsabilità, aggiungendo all'idoneità e all'efficienza tecnico-economica del progetto l'ottimizzazione ambientale. Ciò significa non solo ricorrere, ove possibile, a tecniche della progettazione ambientale, ma anche optare per la soluzione ambientalmente migliore fra di esse. In materia di IN ciò significa seguire la ormai diffusa scala delle priorità decrescenti:

- 1) consentire la massima espressione dell'ecosistema, evitandone forzature, ovvero: cercare di risolvere il problema prioritariamente attraverso lo sfruttamento della natura piuttosto che con le opere;
- 2) nel caso non fosse attuabile la modalità di cui al punto precedente, applicare la tecnica meno impattante possibile, ovvero ricorrendo a materiali vegetali;
- 3) se non fosse attuabile neppure la modalità precedente, ricorrere a tecniche miste; tali tecniche (che comportano quindi il ricorso a scogliere, gabbioni, terre rinforzate, legname, geotessili, ecc.) devono quindi essere evitate se si verifica la possibilità di ottemperare alle esigenze con tecniche rigorosamente naturalistiche.

Si tenga comunque sempre presente l'opzione "0", che dovrà essere adottata qualora si verifichi l'incompatibilità di qualsiasi intervento.

LA LEGISLAZIONE DELLA SARDEGNA

Il principale riferimento normativo della Regione Sardegna in materia di progettazione e appalto dei lavori è costituito dalla L.R. n. 5 del 7 agosto 2007, contenente le "Procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, forniture e servizi, in attuazione della Direttiva comunitaria n. 2004/18/CE del 31 marzo 2004 e disposizioni per la disciplina delle fasi del ciclo dell'appalto". In particolare, all'Art. 9 "Progetti e tipologie progettuali per l'appalto di lavori" la

norma riporta i contenuti minimi della progettazione, articolati per i tre diversi livelli di approfondimento tecnico, coerentemente alle prescrizioni normative nazionali di cui al D.Lgs. 163 del 12 aprile 2006 ("Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE") modificato e integrato dai decreti legislativi 6 del 26/01/2007, 113 del 31/07/2007 e 152 del 11/09/2008. Stante tale livello di coerenza e tenuto conto del minore livello di dettaglio utilizzato dalla norma regionale nella descrizione dei contenuti degli elaborati progettuali, i paragrafi successivi faranno riferimento ai dettami della normativa nazionale.

7.8.2 *Progettazione preliminare*

La progettazione preliminare ha lo scopo essenziale di consentire una verifica con il committente su un ventaglio di ipotesi progettuali ancora da esplorare o da approfondire, in modo da poter scegliere con precisione gli indirizzi del successivo progetto definitivo. Poiché la committenza è spesso costituita da pubbliche amministrazioni, la progettazione preliminare possiede anche altri scopi, quali quello di presentare alla collettività o a soggetti presenti sul territorio le ipotesi d'intervento, o quello di supportare una determinazione di spesa ufficiale e precisa da inserire in bilancio e da sottoporre a tutti i vagli interni dell'amministrazione medesima.

Talvolta, lo scopo principale della progettazione preliminare è proprio quello di consentire a un ente di rivolgere specifiche richieste di finanziamento ad altri enti pubblici erogatori, competenti sulla materia trattata o dotati di poteri di controllo o di supervisione in merito.

Gli elementi costitutivi della progettazione preliminare si possono così raggruppare:

CARATTERIZZAZIONE DEL PROBLEMA, tramite rilievi di campo e indagini preliminari, descrizione sintetica delle problematiche che originano la necessità di intervento, documentazione iconografica, cartografica o fotografica di localizzazione e supporto.

INDIVIDUAZIONE DELLE IPOTESI DI SOLUZIONE, tramite descrizione sintetica delle strategie di intervento e delle tecniche ritenute più adeguate, loro localizzazione su cartografia a scala vasta (corografia) e media, documentazione schematica sulle tipologie tecniche proposte, esemplificazione iconografica o fotografica, anche con simulazioni, sui risultati dell'applicazione delle tecniche proposte; eventualmente, produzione di sezioni-tipo in scala del corso d'acqua o delle scarpate sistemate, anche se non quotate.

In questa fase dovrà essere indicata con certezza la possibilità di ricorrere ad interventi di IN considerandone anche i limiti di applicazione

STUDIO DI PREFATTIBILITÀ AMBIENTALE, ovvero confronto di massima dei prevedibili effetti fra le possibili soluzioni e individuazione delle misure di mitigazione e miglioramento.

ANALISI ECONOMICA, tramite determinazione di massima dei costi previsti per le sistemazioni proposte, eventualmente comprensiva di comparazione tra i costi delle diverse ipotesi progettuali sottoposte a verifica.

La fase della progettazione preliminare costituisce un'occasione interessante di interlocuzione tra gruppo di progettazione e committenza, tanto più significativa se si tiene presente che spesso si pongono al progettista richieste contrastanti con i principi e la filosofia di intervento dell'ingegneria ambientale: rettificazione di alvei, canalizzazioni, "bonifiche" di zone umide, eliminazione di calanchi o scoscendimenti, magari anche senza necessità, "messa in sicurezza idraulica" di terreni boscati o a seminativo, etc.

In questi casi la correttezza e la deontologia professionale può obbligare il progettista a mettere in discussione i presupposti progettuali sui quali si basa il suo stesso incarico, impegnandolo a discutere con la committenza utilizzando i dati conoscitivi acquisiti in fase di progettazione per orientare diversamente la strategia di intervento. Rinunciare a priori a questa dialettica con la committenza, trasformando il progettista in semplice esecutore, priva la committenza medesima di una possibilità di verifica ponderata e ragionata in contraddittorio, ovvero determina una inefficienza della spesa e del bene pubblico. Ove tale confronto non produca i benefici sperati dal punto di vista dell'impostazione progettuale, rimane ovviamente a carico del progettista l'onere di stabilire se gli aggiustamenti ottenuti possono soddisfare i principi di adeguatezza stabiliti dalla legge e dalla deontologia, o se piuttosto egli non debba correttamente rinunciare all'incarico esecutivo in quanto non più in condizione di perseguire la coerenza a tali principi.

In generale, si tenga presente che una buona esecuzione della fase preliminare (analisi del problema, indagini, progettazione preliminare) è di grande importanza per i progetti di carattere ambientale e soprattutto per quelli incentrati sulla mitigazione del dissesto idrogeologico ed in genere sulla difesa del suolo. Peraltro, le attività che si devono svolgere, che non si limitano a quelle tecniche e richiedono verifiche e confronti di opinione, anche lunghe e impegnative, sono di una certa entità e onere, malgrado ciò non sia ben riconosciuto dalle aliquote dei tariffari professionali, in quanto concepiti in tempi ove tali esigenze non erano così sentite.

Risulta importante, già da questa fase, la formazione di un gruppo di lavoro multisettoriale, che permetta una visione della problematica più ampia e completa rispetto a quella del singolo progettista, consentendo inoltre una corretta individuazione delle esigenze di difesa dal rischio e di tutela di valori ambientali e del paesaggio.

7.8.3 *Progettazione definitiva ed esecutiva*

Le fasi di progettazione definitiva ed esecutiva devono essere strutturate in modo da consentirne la valutazione da parte degli organi pubblici committenti o di controllo, quindi devono prevedere una relazione tecnica che motivi, sulla base degli studi svolti in fase di preliminare e dei successivi confronti, le scelte tecniche e progettuali; inoltre deve prevedere tutti gli elaborati grafici necessari a rendere comprensibile e cantierabile l'intervento, ossia tavole di rilievo e di stato sovrapposto con planimetrie, sezioni, profili, prospetti, dettagli costruttivi.

Occorre tener presente che il "Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio" prevede, nelle aree sottoposte a vincolo paesaggistico, che corrispondono sovente alle aree su cui intervenire, richiede la predisposizione della Relazione Paesaggistica (D.P.C.M 12/12/2005) dal allegare al progetto definitivo per la richiesta di Permesso a costruire.

Per ciò che riguarda la parte economica, il progetto esecutivo deve prevedere obbligatoriamente un elenco prezzi, con i prezzi a misura e a corpo di tutti i materiali e tutte le opere progettate o inserite nel progetto medesimo, un capitolato speciale d'appalto con tutte le condizioni e prescrizioni all'impresa, un computo metrico estimativo con la quantificazione degli interventi, il relativo prezzo e i totali risultanti (quadro economico).

Si tenga inoltre presente che il Regolamento Merloni richiede anche il "quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera", aspetto importante per i lavori di IN.

Più in dettaglio, oltre alla relazione tecnica, gli elaborati che compongono il progetto definitivo ed esecutivo sono i seguenti (si rimanda ai capitoli specifici la trattazione più approfondita degli argomenti):

Tavole e disegni tecnici

Le tavole e i disegni tecnici sono il contenuto principale del progetto esecutivo, in quanto la raffigurazione degli interventi deve qui essere tale da consentirne l'immediata cantierizzazione.

Tra le tavole di progetto deve necessariamente essere presente una planimetria di progetto o di stato sovrapposto (rilievo-progetto), nella quale siano identificabili con apposite simbologie o legende gli interventi di progetto, ove possibile redatta in piccola scala (1:500, 1:200, 1:100).

Quando gli interventi presuppongono movimenti di terra e non semplici riprofilature, si devono produrre una planimetria e specifiche sezioni riportando i movimenti di terra tramite legenda e colorazione convenzionale (campitura rossa per i riporti e campitura gialla per gli scavi). La scala delle sezioni dovrebbe essere al massimo 1:200, perché al di sopra di questo rapporto movimenti di terra anche ragguardevoli appaiono poco leggibili.

Le sezioni di progetto, redatte nella medesima scala delle sezioni dei movimenti terra, devono invece riportare, con simbologie o raffigurazioni schematiche, gli interventi e le tecniche di progetto. Le quotature delle sezioni e delle tavole indicanti i movimenti di terra devono essere eseguite con il medesimo criterio, ossia con quote assolute o relative a seconda delle esigenze di progetto.

Le elaborazioni devono essere prodotte ad hoc per ciascun progetto. Si deve assolutamente evitare (d'altra parte sarebbe precluso anche per legge), pur essendo purtroppo una pratica diffusa, l'adozione di disegni tratti da libri o progetti precedenti, non solo per serietà professionale, ma soprattutto perché i progetti di IN non possono essere banalmente standardizzati ma, piuttosto, devono essere decisamente contestualizzati.

Allegati grafici e particolari costruttivi

Le tecniche di IN non sono standardizzate, sono ancora poco utilizzate e poco conosciute anche dalle imprese del settore; per questi motivi si rende necessario allegare al progetto esecutivo delle tavole che riportino in piccola o piccolissima scala (1:50, 1:20, 1:10) i dettagli costruttivi delle diverse tecniche utilizzate.

Le tavole contenenti i dettagli costruttivi è opportuno che siano particolarmente ricche di quotature, di "zoomate" e fotografie su particolari più difficili da capire, di spiegazioni scritte e didascalie, in modo da evitare equivoci o errori nella realizzazione delle opere da parte delle imprese esecutrici. Neppure si può far carico la direzione dei lavori di definire i dettagli costruttivi delle opere, pena l'inefficienza e i rischi di incongruenza sul piano sia tecnico che economico rispetto a quanto stabilito in sede di appalto lavori.

Computo metrico estimativo, elenco prezzi unitari

Gli elaborati di analisi economica necessari all'affidamento di un progetto sono differenziati a seconda della committenza, poiché in caso di committente privato si deve procedere alla semplice redazione di un computo metrico e di un elenco prezzi unitari che consentano il raffronto tra le offerte delle diverse ditte contattate e la stipula del contratto. Alle imprese si consegna in genere il computo e l'elenco prezzi privo di cifre nella colonna dei prezzi, mentre resta al committente una copia con prezzi di mercato che consente di valutare la credibilità e l'affidabilità delle ditte che si candidano alla realizzazione: ovviamente eccessivi ribassi rispetto ai prezzi di listino o di mercato ponderati dal progettista sono sospetti, e l'impresa offerente deve essere perlomeno sottoposta a richiesta di chiarimenti.

Questi elaborati sono necessari anche se non sufficienti pure in caso di committente pubblico, in quanto servono all'ente per sottoporre a gara e aggiudicare i lavori. Secondo i recenti aggiornamenti normativi, l'aggiudicazione avviene sottoponendo alle imprese invitate o

candidatesi un elenco prezzi unitari privo di cifre, e l'ente sceglie sulla base della percentuale di ribasso offerta sul totale dei prezzi unitari o, per appalti consistenti, sulla base della somma dei singoli ribassi sulle voci di elenco. Questa procedura obbliga a redigere un elenco prezzi limitato alle voci realmente presenti nel progetto o ritenute di possibile utilizzazione con varianti, in quanto elenchi molto ricchi di voci possono falsare il risultato consentendo al limite di aggiudicare l'appalto all'impresa che offre sconti maggiori su opere non previste in realtà nel progetto.

La regola generale di costruzione dei prezzi è quella di definirli in funzione delle condizioni di omogeneità economico-territoriale e a seconda delle modalità costruttive prescelte.

Per quel che concerne l'individuazione degli ambiti di omogeneità, si può far direttamente riferimento ai prezzari degli ordini professionali, delle camere di commercio o delle associazioni di categoria (dove i prezzi sono differenziati per regione o per provincia), oppure ci si può appoggiare a prezzi reali di mercato e prezzari di imprese locali, decurtati ovviamente dei margini di utile legati al lavoro al dettaglio.

Per ciò che riguarda invece le modalità costruttive, tutte le volte che si introducono modifiche alle tipologie tecniche riportate in manualistica o in letteratura, si devono anche calcolare le differenze di prezzo che queste modifiche comportano: le tecniche di IN sono infatti molto flessibili, facili da adattare ai diversi contesti attraverso cambiamenti nei materiali o nei dettagli. Possono anche nascere dei malintesi o delle contestazioni a causa del fatto che manuali tecnici di IN (tra l'altro a cura di enti pubblici) riportano, per la medesima tecnica, dei prezzi anche molto diversi. Questi problemi si possono risolvere solo riportando nell'elenco prezzi (o nel capitolato) delle descrizioni dettagliate dell'opera, dei materiali e delle misure relative.

Nel computo, le quantità delle opere si desumono misurando i disegni degli elaborati progettuali e applicando le densità precisate negli elaborati medesimi o nell'elenco prezzi unitari. Le densità previste per opere quali la messa a dimora di talee o di piante radicate sono a loro volta dipendenti dai fini progettuali e dagli scopi dell'intervento: quando l'obiettivo è un rivestimento rapido e continuo la densità è elevata, quando l'obiettivo è invece l'edificazione di siepi o macchie arbustive si devono seguire corretti principi agronomici nella scelta dei sesti di impianto.

Analisi prezzi, capitolato speciale d'appalto

Quando il committente è un ente pubblico (Comune, Provincia, Regione, Consorzio di Bonifica o Comunità Montana) le procedure di attribuzione dell'appalto rendono obbligatori altri due elaborati allegati alla progettazione esecutiva, il capitolato speciale d'appalto e (in certi casi) l'analisi prezzi.

Il capitolato speciale d'appalto riporta le condizioni poste all'impresa dal punto di vista della corretta esecuzione dei lavori, della gestione del cantiere, del rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza e diritti dei lavoratori. Per il suo rilievo contrattuale esso impegna l'impresa nei confronti della pubblica amministrazione e della Direzione Lavori, e quindi è il documento nel quale si devono inserire le descrizioni più dettagliate delle tecniche utilizzate, dei tempi e modi per la loro esecuzione, dei materiali da utilizzare.

Nel capitolato d'appalto è utile riportare anche i criteri di corretta impostazione e gestione delle fasi di cantiere, in modo da salvaguardare la vegetazione presente in sito ed eseguire i lavori con il minimo di impatto ambientale.

L'analisi prezzi è invece un elaborato che viene richiesto dalla pubblica amministrazione quando si reputa necessario giustificare e fondare, sopra un'analisi dettagliata, i prezzi riportati nell'elenco prezzi unitari, a causa dell'importo dei lavori in appalto o della tipologia non standardizzata delle opere di progetto. Infatti quando le opere sono standardizzate, e questo accade in genere per molte tipologie dell'ingegneria civile e dell'edilizia, sono disponibili prezzi ufficiali o di categoria direttamente citabili a giustificativo dei prezzi utilizzati in elenco.

L'analisi prezzi delle opere di IN si costruisce quantificando, per ogni unità di misura dell'opera, il tempo di lavoro necessario ripartito per qualifica (operaio, operaio forestale qualificato, operaio forestale specializzato), il materiale utilizzato e il nolo macchine stimato in ore e frazioni. Per ottenere un calcolo rigoroso e corretto sarebbe però necessario un monitoraggio su cantieri reali nel territorio prossimo all'intervento in condizioni differenziate per difficoltà; si deve infatti considerare che i fattori che sbilanciano notevolmente il prezzo di opere di IN sono la qualificazione e l'esperienza in campo della manodopera (quando è bassa, i tempi di esecuzione aumentano a dismisura), la disponibilità di materiali vivi o morti in prossimità dei cantieri e le difficoltà di accesso e gestione del cantiere per motivi idraulici, climatici, di distanza da strade carrabili etc.

Per costruire i prezzi in modo corretto e prossimo al vero, il progettista dovrà quindi ponderare quale tra le esperienze riportate in bibliografia o recensite da riviste specializzate sia più simile alla realtà di intervento nella quale egli opera, dovrà prendere conoscenza dei prezzi di mercato e dei prezzi riportati per le diverse tecniche nei manuali disponibili, dovrà valutare se le analisi prezzi riportate in testi disponibili siano eseguite tenendo conto delle specificità del progetto in esecuzione, e dovrà a questo punto aggiornare o creare ex novo le analisi prezzi per le opere previste.

7.8.4 Piano di manutenzione

Il piano di manutenzione rientra tra gli elaborati progettuali obbligatori ai sensi della D.Lgs. 163/2006 che prevede di allegarlo al progetto esecutivo (Art. 93, 5° comma), mentre l'attuale Regolamento attuativo ne descrive il contenuto (Art. 40 DPR 554/99).

Il principio generale da tenere presente è che la manutenzione degli interventi di IN deve essere tendenzialmente nulla quando sia possibile lasciare libero spazio all'evoluzione naturale della vegetazione inserita nelle opere, e deve invece essere proporzionalmente crescente in relazione all'artificialità perseguita dei soprassuoli edificati.

Se gli esemplari arborei o arbustivi inseriti nelle opere non vengono disturbati, si avrà infatti tendenzialmente una crescita vigorosa delle specie riprodotte per talea e una crescita più ridotta nel primo periodo per le specie riprodotte da esemplari radicati. La crescita delle formazioni boschive o arbustive sarà tendenzialmente omogenea a seconda della specie e della tecnica riproduttiva, per cui si avranno macchie di esemplari coevi con fusti isodiametrici e altezze uniformi. I getti da talee, inizialmente appressati, saranno soggetti poi a un naturale diradamento con deperimento e morte dei rami e degli esemplari più ombreggiati, mentre le specie forestali di pregio sciafile e a lenta crescita sul lungo periodo emergeranno e domineranno le specie pioniere.

In questo modo, se il progetto ha ben impostato il problema dell'evoluzione naturale futura della vegetazione (considerando i sestri di impianto, le seriazioni, le compatibilità) anche senza intervento dell'uomo si avrà una trasformazione della formazione forestale pioniera insediata in bosco maturo.

La situazione tipica nella quale si rende invece necessario la previsione di interventi periodici di governo della vegetazione è quella dei corsi d'acqua artificializzati o rettificati a sezione ristretta obbligata, dove gli interventi idraulici con IN non possono comportare ampliamenti dell'alveo per la presenza sopra sponda di edifici o attività produttive. In questi casi si dovrà prevedere un taglio di ceduzione a cadenza pluriennale, finalizzato al ringiovanimento della parte epigea delle piante, in modo da avere sempre getti flessibili e densi di diametro ridotto.

Gli obiettivi degli interventi di manutenzione su opere di IN possono poi essere diversi, in relazione alle diverse finalità progettuali, e in rapporto a questi variano anche le operazioni da prevedere e la periodicità delle operazioni medesime. Per ottenere un bosco di versante privo di esemplari sfilati o inclinati (problematici dal punto di vista statico) si dovrà provvedere per tempo a diradamenti che selezionino esemplari arborei sani e ben strutturati, mentre per avere una boscaglia riparia bisogna fare esattamente l'opposto.

Non esiste quindi una cadenza obbligatoria negli interventi sulla vegetazione uguale a seconda della tecnica utilizzata, ed è compito del progettista valutare in primo luogo se una manutenzione è da prevedersi, quindi se tale manutenzione ha l'obiettivo di favorire o di ostacolare la crescita della vegetazione, e infine quanto le operazioni di manutenzione devono essere ravvicinate.

ESEMPIO INDICE PIANO DI MANUTENZIONE

- 1 Premessa
- 2 Classe, unità, elementi tecnologici e componenti
- 3 Manuale d'uso
- 4 Manuale di manutenzione
- 5 Programma di manutenzione
 - 5.1 Sottoprogramma delle prestazioni
 - 5.1.1 Opere di protezione dall'erosione spondale
 - 5.1.2 Opere traverse
 - 5.1.3 Piantagioni
 - 5.2 Sottoprogramma dei controlli
 - 5.2.1 Opere di protezione dall'erosione spondale
 - 5.2.2 Opere traverse
 - 5.2.3 Piantagioni
 - 5.3 Sottoprogramma degli interventi di manutenzione
 - 5.3.1 Opere di protezione dall'erosione spondale
 - 5.3.2 Opere traverse
 - 5.3.3 Piantagioni

7.8.5 *Piano di sicurezza*

Ove il caso lo richieda, può essere obbligatoria la predisposizione del Piano di Sicurezza, ai sensi dell'Art. 11 del DL 14/8/96 n. 494. L'Art. 4 definisce il Coordinatore per la progettazione quale redattore del Piano. La normativa istituisce anche la figura del Coordinatore per l'esecuzione dei lavori.

Il decreto si applica alle attività descritte all'allegato I, che corrispondono ai lavori edili e di genio civile, tuttora regolati dal D.P.R. 164/56, ai quali si aggiungono i lavori impiantistici che comportano anche attività edili e di genio civile.

Le opere di IN rientrano intrinsecamente dall'art. 2 c.1 e dall'Allegato 1 del D.Lgs. 494/96 sotto le voci: opere idrauliche, marittime, di bonifica, sistemazione forestale e del suolo, scavi e consolidamento.

Il D.Lgs. 494/96 prevede obblighi a carico del committente (o del responsabile dei lavori da lui incaricato), che comprendono la designazione del coordinatore per la progettazione e del coordinatore per l'esecuzione dell'opera (rispettivamente prima della fase di progettazione esecutiva e prima dell'affidamento dei lavori).

Tale designazione è obbligatoria per cantiere di dimensioni superiori a determinate soglie.

Per quanto riguarda la definizione di queste ultime e le modalità di redazione e gestione dei piani e delle attività di competenza del coordinatore per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori, responsabile in materia di sicurezza, si faccia riferimento alla normativa citata.

Si ricorda inoltre che rimangono in vigore le norme particolari dettate dal D.P.R. 164/56, dalle altre norme vigenti in materia di prevenzione nonché, infine, dal D.Lgs. 626.

7.8.6 Studio di fattibilità ambientale (o di impatto ambientale, ove richiesto)

Nel caso di interventi di IN, la scelta di utilizzare queste tecniche rappresenta di per sé la soluzione al problema posto dall'Art. 29 del DPR 554/1999. Chiaramente occorre però dimostrare che la soluzione scelta, anche rispetto ad altre opzioni rientranti nella categoria delle opere di IN, rappresenta quella migliore per l'ambiente, pur in compatibilità con gli obiettivi del progetto.

Affinché si rispetti e si possa dimostrare il suddetto criterio di compatibilità ambientale, gli interventi che si andranno a ipotizzare dovranno essere sottoposti a una valutazione degli effetti ambientali. Vi sono diversi gradi di approfondimento di tale valutazione, a seconda dello stato del percorso attuativo:

- fase di pianificazione-programmazione: valutazione di piano o valutazione ambientale strategica (VAS) ove previsto, analisi multicriterio (confronto fra più alternative);
- fase di progettazione preliminare: studio di prefattibilità ambientale;
- fase di progettazione di dettaglio (definitiva): studio di fattibilità ambientale, studi di VIA ove richiesto

Se facciamo riferimento agli obblighi di legge in materia, nella fase di approvazione il progetto deve essere sottoposto a:

- valutazione di incidenza ecologica (VIEC), qualora si trovi all'interno di aree SIC e ZPS o vicino ad esse e possa determinare una influenza sulle specie e gli habitat relativi;
- screening ambientale o VIA, qualora le opere previste rientrino nell'elenco di cui alla legge regionale in materia oppure se rientrano all'interno di aree protette;
- prefattibilità o fattibilità ambientale nel caso di opere pubbliche.

7.9 Affidamento delle prestazioni

7.9.1 Attività tecniche

Un progetto e un'esecuzione dei lavori coerenti con le caratteristiche sopra menzionate presuppongono la scelta di progettisti, direttori lavori e imprese esperti di interventi a minimo impatto e di miglioramento in ambienti naturali, in analisi e studio di VIA e che lavorino secondo procedure di qualità.

Le gare e le selezioni per l'affidamento degli incarichi devono quindi dare importanza prioritaria alla qualità ed esperienza (comprovata) dei candidati. I progettisti devono dimostrare una conoscenza e un approccio multidisciplinare e (salvo casi di modesta complessità, estensione e incidenza ambientale) essere costituiti da gruppi di lavoro composti dalle diverse competenze essenziali e paritetiche (p.e.: naturalista, geologo, pedologo, paesaggista, forestale, ingegnere ambientale, ecc), e non subordinate tipicamente all'ingegneria classica. Lo stesso vale per le ditte esecutrici.

A tal fine, le commissioni aggiudicatrici individuate dalle amministrazioni appaltati devono essere formate da esperti di alto livello e rappresentanti delle diverse discipline. Potrebbero essere interpellate associazioni di categoria, ordini professionali e organizzazioni di riconosciuta rappresentatività in campo ambientale.

Gli esperti dovrebbero essere coinvolti già nelle fasi di programmazione iniziale delle ipotesi di intervento, ovvero di individuazione tipologica ed economica; poiché, tipicamente, se le schede di richiesta di finanziamento da parte di soggetti locali si basano su valutazioni approssimative rischiano di compromettere tutto il successivo percorso progettuale, in senso sia qualitativo che quantitativo.

Infine, la stazione appaltante, con i tecnici (esperti di IN) che si occuperanno della progettazione, direzione e collaudo lavori, dovrebbe proseguire il rapporto professionale, estendendolo al supporto alle successive fasi di monitoraggio, manutenzione-taratura, almeno fino a un tempo sufficiente per acquisire la conoscenza e l'indipendenza tecnica da parte del soggetto affidatario. Questo perché il successo di interventi di questo genere, specialmente se basati su tecniche naturalistiche, dipende molto dalla coerenza e qualità gestionale; altrimenti si rischia di inficiare gli sforzi, anche cospicui, e la qualità immessa negli interventi stessi.

7.9.2 Appalto lavori

Per quanto riguarda l'appalto per la realizzazione delle opere, le Categorie che riguardano opere di IN e a verde di cui al 34/2000, l'affidamento a ditte specializzate è molto importante agli effetti della riuscita degli interventi, poiché questa dipende notevolmente dalle modalità di

esecuzione, di trattamento dei materiali e dalla loro qualità, aspetti che richiedono una specifica competenza ed esperienza specialmente nei settori dei lavori a verde e di carattere agro-forestale. Per contro, la maggior parte delle gare d'appalto per lavori di sistemazione del suolo, dei corsi d'acqua in particolare, si rivolge a ditte che operano genericamente nel campo dell'ingegneria civile, ditte ben collegate al mercato che dispongono di grossi capitali e referenze, col risultato di tagliare fuori, in molti casi, gli operatori emergenti nei nuovi suddetti settori, relegandole agli appalti di piccola entità o ai subappalti. È necessario quindi, innanzitutto, un impegno da parte dei dirigenti pubblici e dei responsabili dei procedimenti affinché i bandi di gara siano opportunamente indirizzati alle imprese di adeguata competenza.

Interessante, ove possibile, è la formazione di gruppi di tecnici misti, pubblico-privati, nonché il coinvolgimento degli enti territoriali (in particolare le comunità montane e i consorzi di bonifica) per la realizzazione dei lavori.

I primi interventi che seguiranno le presenti linee guida potranno servire come banco di prova e di formazione di gruppi di tecnici e di operai che tenderanno quindi a specializzarsi per questo tipo di opere.

8 Sviluppo e promozione dell'IN

8.4 Azioni per favorire l'applicazione, la diffusione e la qualificazione dell'IN

8.4.1 Premessa

Per quanto riguarda le azioni di messa a punto e miglioramento degli interventi di IN – alla luce delle esperienze condotte per conto di enti pubblici, in Italia e all'estero, dal gruppo di lavoro ed in particolare dal coordinamento di quest'ultimo - si ritiene importante porre le basi per avviare una fase di diffusione e di crescita qualitativa degli interventi di IN, attraverso azioni di informazione e formazione. Nell'interessante caso della Provincia di Milano, notevole successo hanno riscosso i corsi con progetto didattico rivolti alle amministrazioni interessate (tecnici di: comuni, enti idraulici, enti parchi e aree protette, autorità di bacino, Provincia, Regione), con la partecipazione di oltre il 50% del numero totale di enti esistenti sul territorio provinciale. In questo modo si riesce, in un contesto al di fuori dall'ordinaria attività che spesso preclude spazi di confronto e approfondimenti, a omogeneizzare l'informazione e a far dialogare soggetti che spesso hanno difficoltà a farlo. Tramite tale interazione e sinergia è allora ben più facile trasmettere informazioni e cultura e quindi veicolare iniziative pilota e applicazioni sul territorio.

A conclusione del presente lavoro è quindi importante accennare sia agli sviluppi dello stesso, sia alle azioni finalizzate alla realizzazione e diffusione degli interventi di IN. In particolare, al momento si individuano le seguenti:

- Diffusione della pratica applicativa dell'IN tramite:
 - formazione (progettisti, valutatori, RUP, imprese, gestori, stazioni appaltanti)
 - convegnistica, pubblicistica, iniziative culturali
- Realizzazione di interventi pilota
- Monitoraggio e relativi report; banca dati interventi e database relazionale
- Aggiornamenti e integrazioni delle Linee Guida

8.4.2 Formazione e aggiornamento

Nei precedenti capitoli è stato sottolineato più volte come sia necessario definire e mettere a punto le tecniche idonee da applicare nel contesto regionale e come ciò richieda, in molti

casi, l'adeguamento alle situazioni specifiche locali delle tecniche di IN applicate in altre regioni italiane (prevalentemente alpine) e all'estero.

E' dunque necessario, innanzitutto, acquisire la capacità di elaborazione dei progetti, di predisposizione dei relativi capitolati d'appalto e di gestione e supervisione dei lavori.

Questa fase deve essere supportata, oltre che da linee guida o da manuali tecnici, dalla formazione dei progettisti e degli operatori addetti all'esecuzione delle opere, su scala locale e regionale. Per tali attività di formazione è possibile fare ricorso alla redazione e realizzazione di "progetti pilota", con il duplice obiettivo della formazione *on job* e della verifica della validità delle tecniche proposte in relazione a specifici contesti territoriali.

Per raggiungere un risultato soddisfacente in questa direzione è necessario prevedere un **percorso formativo**, nell'ambito del quale si tendano a individuare e realizzare applicazioni pilota (cantieri didattici). Un approccio in tal senso dovrebbe prevedere:

- il ricorso alla **supervisione tecnica**, sia in fase progettuale che nell'assistenza alla direzione lavori, di tecnici con maturata esperienza nella progettazione e realizzazione di opere di IN;
- la realizzazione di periodici **corsi di aggiornamento** per informare sull'evoluzione delle tecniche di IN e delle normative che le riguardano e per valutare i risultati ottenuti con la loro applicazione in ambito locale e internazionale.

Il percorso formativo, così strutturato, dovrebbe essere destinato, dunque, ai soggetti interessati alla difesa del suolo, al governo e al riassetto idrogeologico e ambientale del territorio, operanti nel contesto regionale e locale, in quanto coinvolti per competenza o per interesse specifico. Viene di seguito proposta una possibile lista.

- Servizi del Genio Civile;
- Agenzia del Distretto idrografico
- Corpo Forestale e di Vigilanza ambientale
- Ente Foreste della Sardegna
- consorzi di bonifica;
- comunità montane;
- enti gestori di parchi nazionali e regionali, Aree Marine Protette o riserve;
- comuni;
- tecnici e operatori del settore in altri enti pubblici (in particolare provincia e regione);
- aziende di servizi (acqua, gas, rifiuti, ecc.);

- tecnici professionisti che operano nei settori agronomico, dell'ambiente e del paesaggio;
- operatori e ditte forestali e di manovalanza assimilabile;
- agricoltori;
- disoccupati o lavoratori in mobilità;
- associazioni interessate all'ambiente o alla fruizione;
- educatori, docenti;
- amministratori pubblici.

I settori maggiormente interessati sono:

- aggiornamento e specializzazione dei tecnici;
- formazione professionale;
- occupazione giovanile;
- lavori socialmente utili;
- gestione di Parchi, AMP e Riserve;
- miglioramento delle aree adibite a pesca;
- assetto agricolo-forestale;
- difesa idraulica;
- ricerca applicata;
- progetti di cooperazione internazionale.

In relazione alle procedure finalizzate alla programmazione e alla progettazione degli interventi pilota e dei relativi tempi, la fase di formazione dovrebbe avere lo scopo di:

- introdurre i tecnici e gli operatori alle problematiche di sistemazione idraulico-ambientale, sia a livello tecnico che culturale;
- descrivere e analizzare i caratteri del paesaggio locali;
- illustrare le conseguenti modalità di applicazione nei vari contesti territoriali;
- illustrare i principi generali, le tecniche e le modalità di realizzazione delle opere di IN;
- sviluppare progetti pilota attraverso la realizzazione di cantieri didattici;
- descrivere e discutere gli aspetti della conduzione e dell'organizzazione dei lavori;
- Illustrare i principi e le tecniche di gestione e di manutenzione delle opere.

In considerazione degli obiettivi appena esposti, i corsi di formazione dovrebbero essere organizzati in sessioni di carattere teorico (in aula) e pratico (visite, sopralluoghi e cantieri didattici).

Alla formazione di carattere diffuso potrebbero essere affiancati protocolli tra Regione e Istituti Universitari per l'attivazione di studi, ricerche specifiche e l'ampliamento dell'offerta formativa per studenti iscritti a corsi di laurea di carattere tecnico attinenti alla formazione, gestione e progettazione del territorio e del paesaggio, così come a quelli delle discipline agrarie, forestali, naturalistiche, geologiche, ecc.

8.4.3 *Progetti pilota*

Per rendere veramente efficaci le presenti linee guida è necessario convalidare le ipotesi studiate qui in teoria tramite la verifica sul campo della rispondenza alle aspettative. A tal fine dovrebbero essere realizzati una serie di interventi pilota per ciascuna tipologia di problematica associata a ciascun contesto territoriale individuato in questo lavoro. Tali interventi dovrebbero quindi essere soggetti a monitoraggio ante, durante e post operam, stilando infine un rapporto scientifico che servirà per confermare le linee guida oppure per indicarne le modifiche, che dovranno poi essere introdotte al successivo loro aggiornamento.

8.4.4 *Convegnistica e pubblicistica*

Come è già avvenuto per le altre linee guida sviluppate da enti pubblici territoriali – regioni, province, enti parco – sarebbe necessario pubblicare i contenuti di queste ultime in forma di quaderno tecnico o manuale, affinché siano facilmente disponibili per tutti i soggetti interessati all'uso.

Per promuovere l'esistenza e il contenuto delle linee guida, ma anche per avviare uno scambio culturale sul tema, nelle esperienze pregresse è risultata molto efficace l'organizzazione di convegni e seminari in cui sono stati presentati e distribuiti ai partecipanti manuali e pubblicazioni inerenti le valutazioni e gli indirizzi progettuali sviluppati all'interno delle linee guida.

Altre iniziative convegnistiche potranno costituire sia l'occasione per la raccolta delle adesioni ai corsi di formazione sia l'esito finale dei percorsi formativi stessi. In quest'ultimo caso la discussione, in merito alle esperienze svolte in ambito regionale, potrà costituire un momento di confronto finalizzato alla verifica e revisione delle ipotesi di soluzione progettuale proposte dal presente lavoro

8.5 Monitoraggio per verifica e taratura interventi

8.5.1 Premessa

Il monitoraggio costituisce un'attività di fondamentale utilità per verificare e mettere a punto le opere realizzate e per valutarne l'impatto ambientale. Rappresenta quindi uno strumento essenziale per orientare gli interventi di manutenzione, ma anche per "correggere" gli interventi stessi o cambiarne le modalità gestionali affinché perseguano al meglio gli obiettivi per cui sono stati concepiti evitando al contempo di creare effetti indesiderati per l'ambiente naturale. Infine, il monitoraggio può servire quale documentazione prestazionale di opere tipo, in modo da poterne far tesoro nella realizzazione di interventi successivi simili. Il monitoraggio tecnico serve anche per ricavare dati economici sulla gestione.

Gli indicatori di monitoraggio riguardano sia l'opera e le sue prestazioni, sia l'influenza dell'ambiente nei confronti della stessa (clima, acqua, suolo, fauna e vegetazione).

Occorre procedere secondo metodi di rilevamento oggettivi al fine di ottenere dati rappresentativi delle diverse tecniche applicate a differenti contesti. L'obiettivo finale è quello di ricavare, nel corso degli anni, un quadro completo e un orientamento operativo.

8.5.2 Criteri per il monitoraggio degli interventi ⁷

La progettazione degli interventi di IN viene realizzata sulla base di esperienze applicative eseguite prevalentemente all'estero (Danimarca, Svizzera e Inghilterra), nel Nord Italia e in alcuni siti dell'Italia Centrale; dunque le valutazioni che stanno alla base delle fasi progettuali non sono solo teoriche, ma la scelta delle tipologie degli interventi si basa sulle esperienze acquisite e sui risultati ottenuti.

Spesso però le opere di IN vengono realizzate in siti con condizioni "limite" e particolarmente problematiche, che possono mettere a dura prova gli interventi; uno degli scopi del monitoraggio degli interventi deve essere quindi quello di verificare fino a che punto essi funzionano e quali varianti degli stessi si potrebbero dimostrare più idonee.

Oltre che a verificare la loro efficacia nel tempo, il monitoraggio degli interventi di IN può contribuire a fornire informazioni riguardo le tecniche, i costi e i tempi di esecuzione, nonché l'impiego di mano d'opera nell'ambito di esecuzione dei lavori.

⁷ Si fa riferimento in particolare all'esperienza condotta dalla IRIS nell'ambito degli interventi sperimentali di IN – Misura 6.4 Ob. 5b Misura 6.4 – realizzati in Toscana nel periodo 1998-2000, soggetti a 4 anni di monitoraggio da parte dell'ARSIA (Regione Toscana) e pubblicati in specifico rapporto (ARSIA, 2003)

Tali informazioni risulteranno in seguito preziose per effettuare analisi prezzi delle opere che comprendano tutti gli aspetti ed i costi, per prevedere in modo attendibile i tempi di esecuzione necessari e per confrontare questi risultati con quelli relativi alle opere di ingegneria tradizionale.

Per monitoraggio si intende in generale un'attività standardizzata di misura e di osservazione dell'ambiente, di un'opera, all'interno del suo contesto di relazione, o di un processo di evoluzione; questa attività di sorveglianza permette di verificare in tempo reale, con una continuità del rilevamento, la variazione di alcuni parametri preventivamente fissati. In particolare monitorare un'opera di IN significa analizzare come essa si inserisce ed interagisce con l'ambiente in cui viene realizzata.

Per questi motivi sarebbe auspicabile che le Amministrazioni locali incentivassero l'attività di ricerca e di monitoraggio delle opere di IN, che sono spesso a carattere "sperimentale" e innovativo.

A tale proposito e a titolo di esempio, si riporta il caso della Regione Toscana, che ha presentato nel 1996 (in relazione al Regolamento CEE n°2081/93, obiettivo 5/B, Sottoprogramma Ambiente, Misura 6.4; Recupero dei corsi d'acqua degradati per la salvaguardia dei centri abitati e degli insediamenti produttivi, Azione Interventi per l'attività di ricerca) "Progetti di Ricerca di Massima" per interventi sperimentali di IN su corsi d'acqua appartenenti a zone definite "omogenee", ovvero che presentano caratteristiche climatiche e geo-ambientali tipiche e rappresentative.

Nella seguente trattazione alcuni dei criteri e dei principi individuati per il piano di monitoraggio delle opere di IN fanno riferimento a quelli contenuti nel suddetto programma di ricerca.

Il primo passo verso il compimento di un'attività di monitoraggio consiste nella individuazione degli obiettivi specifici del lavoro, che possono essere:

1. definire i criteri e i metodi di monitoraggio standardizzati rispetto alle differenti tipologie progettuali, in modo da raccogliere dati omogenei e confrontabili tra loro;
2. effettuare verifiche periodiche sull'andamento del monitoraggio di ogni singolo progetto valutato rappresentativo e dell'insieme degli interventi nel suo complesso;
3. raccogliere i risultati della sperimentazione emersi ed effettuarne la sintesi al termine del programma di ricerca;
4. fornire consulenza specialistica riguardo le tecniche di costruzione, sulla base delle informazioni e dei riscontri ottenuti in seguito all'analisi della casistica osservata;
5. definire adeguate formule di rappresentazione dei risultati e le forme di divulgazione degli stessi.

Complessivamente, nell'ambito di un programma di monitoraggio di un intervento di IN assumono una particolare rilevanza i seguenti aspetti di interesse:

- il rilievo dei tempi e dei costi durante la fase di esecuzione e di gestione delle opere;
- il monitoraggio della qualità delle opere e del raggiungimento degli obiettivi previsti (sviluppo degli apparati epigei e ipogei delle piante in tempi definiti, successo delle piantagioni e relativa densità, verifica delle deformazioni delle opere, dell'impatto ambientale etc.);
- il monitoraggio socio-economico (occupazione creata, aumento della qualificazione della manodopera locale, garanzia di continuità di lavoro) ad opera terminata sul breve termine;

Il Piano di monitoraggio delle opere

Per determinare il grado di prestazione delle opere, cioè la capacità a raggiungere gli obiettivi preposti (idraulici, ambientali, paesaggistici), occorre verificare almeno quattro fattori:

- 1) l'affermarsi di una copertura vegetazionale adeguata;
- 2) la stabilità e la resistenza offerta dalle opere nei confronti delle diverse sollecitazioni;
- 3) la durata e l'affidabilità nel tempo delle opere;
- 4) il miglioramento ambientale conseguito.

In termini analitici ciò significa determinare dei parametri, sulla base dei dati raccolti nel monitoraggio e mediante l'applicazione di modelli matematici.

Per avere un quadro completo relativo al grado di prestazione delle opere è necessario determinare e valutare i seguenti dati:

- evoluzione della vegetazione nel tempo;
- nel contesto fluviale: resistenze all'azione di trascinamento offerte dalle opere in occasione di eventi di piena, con verifica puntuale (eventuali gradi di deterioramento su tutta l'opera o localmente); confronto con i valori riportati in letteratura per altre esperienze; verifica dell'applicabilità di modelli e logiche di confronto e di correlazione fra questi ultimi casi e quello in esame);
- resistenze ai fattori di stress naturali, offerte dalla vegetazione, per le diverse specie impiegate: interrimento, trasporto solido, sommersione, deficit idrico; monitoraggio globale e locale dell'entità di tali fenomeni;
- verifica quali-quantitativa del potere di consolidamento delle scarpate da parte degli apparati radicali vegetali e delle strutture collaboranti dell'opera;

- grado di qualità ambientale dell'area d'intervento in relazione alle opere inserite, ovvero definizione di un modello di valutazione basato sull'utilizzo di indicatori ambientali (es. presenza di macroinvertebrati e altre specie animali, formazione di ripari per la fauna, grado di complessità vegetazionale, diversità ambientale, qualità del paesaggio).
- Capacità di integrazione funzionale delle opere nei processi spontanei propri del dominio fisico-ambientale in cui sono inserite (fluviale, eolico-costiero, di versante, ecc.) ed efficacia nel riequilibrare le dinamiche evolutive dell'ecosistema.

Questi dati andranno determinati nel corso dell'intero periodo di monitoraggio, per verificarne la tendenza evolutiva nel tempo.

Per quanto riguarda il periodo di monitoraggio, un periodo di almeno 2-4 anni può fornire informazioni soddisfacenti per quanto riguarda l'efficacia e la qualità "biotecnica" degli interventi, soprattutto perché le tecniche di IN con materiali vegetali vivi tendono, per loro natura, a incrementare l'efficacia nel tempo. Le valutazioni relative ai primi due anni sono pertanto da considerarsi quelle più significative per la buona riuscita delle opere. Se l'obiettivo del monitoraggio è invece quello di effettuare una valutazione "ecologica" degli interventi, e cioè valutare la risposta dell'ecosistema alle nuove condizioni ambientali, lo studio deve essere condotto per periodi più lunghi (almeno 5-10 anni).

Monitoraggio della qualità degli interventi

Obiettivo indispensabile per un intervento di IN è l'affermazione della copertura vegetale, che dovrebbe assumere una struttura e un livello di copertura tali da assicurare la stabilità e la funzionalità della struttura stessa. Il monitoraggio degli interventi dovrà quindi servire anche a verificare l'eventualità di errori nella scelta delle specie vegetali, nella loro semina o piantagione o nella loro disposizione spaziale. Qualora il monitoraggio rivelasse problemi nell'affermazione della vegetazione si dovrà essere in grado di ricondurre l'insuccesso a uno o più dei seguenti fattori:

- clima: l'inserimento di piante in un ambiente troppo arido per il loro ottimale sviluppo comporta, evidentemente, un accrescimento ridotto e sofferenza determinata da stress idrico. Va però evidenziato che possono sorgere problemi anche con l'utilizzo di specie troppo xerofile per il contesto climatico in cui si interviene. Le piante tipiche degli ambienti aridi, infatti, limitano lo sviluppo dell'apparato radicale se ricevono un costante apporto idrico, fatto che, nel caso di interventi di IN, potrebbe compromettere le capacità di stabilizzazione dei pendii. Va inoltre considerato che i vegetali tendono a sfruttare sempre al meglio le risorse idriche a loro disposizione; in funzione della disponibilità d'acqua nel sito occorre quindi selezionare le specie capaci di produrre una biomassa adeguata, sia nella parte epigea che nell'apparato radicale.

- terreno: un fattore fondamentale per la buona riuscita di un intervento di IN è la composizione chimica del terreno. E' innanzitutto importante la scelta di specie calcicole o calcifughe, in funzione del contenuto di carbonati nel substrato. Anche il contenuto di nutrienti è importante, soprattutto nel caso in cui si preveda di effettuare, all'atto dell'impianto, una fertilizzazione con composti azotati. E' infatti necessario considerare che tale arricchimento del terreno può essere inutile per il successo di entità pioniere e adatte ai substrati più poveri, mentre, al contrario, può favorire l'ingresso di specie nitrofile invasive.
- disposizione spaziale: un errore piuttosto frequente che si è potuto osservare negli interventi di IN (o di rivegetazione in generale) effettuati in Sardegna, consiste nel non tenere conto delle differenti condizioni ecologiche che si possono presentare all'interno della stessa area da rinverdire. Il caso tipico è quello delle sponde dei corsi d'acqua, dove si trascura spesso il fatto che esistono specie più idonee ai letti fluviali (oleandro, salici arbustivi, tamerici) e altre più adatte alle parti rilevate delle sponde (salice bianco, pioppi, olmo minore). Può pertanto accadere che la stessa specie si affermi con successo solo in un limitato settore della superficie di intervento, dando luogo a numerose fallanze nelle restanti aree. Un corretto monitoraggio di tali fenomeni servirà a definire in modo più dettagliato gli ambiti spaziali di utilizzo delle differenti specie.
- stadio della serie dinamica: la scelta delle specie da utilizzare deve dipendere sempre da un corretto inquadramento geobotanico dell'area di intervento, che permette di ricostruire le serie dinamiche principali e speciali e individuare così le successioni naturali in corrispondenza di ciascun sito. Un secondo passo consiste nell'individuare lo stadio della serie dinamica che è più opportuno impiantare nell'area di intervento. Tale scelta dipende principalmente dalla disponibilità di un substrato naturale sul quale le piante possano sviluppare gli apparati radicali. Le aree mediterranee presentano un significativo e vario contingente floristico capace di affermarsi su materiali compatti e ad elevato contenuto in scheletro. Su pendii e scarpate è spesso possibile un impianto diretto di tali essenze senza un ulteriore apporto di terreno. Così come sarebbe errato utilizzare su questi substrati specie più esigenti, sarebbe altrettanto inopportuno impiantare entità a carattere pioniero su un notevole spessore di terreno di coltivo (o vegetale) sulle superfici da rinverdire. In quest'ultimo caso, infatti, potrebbero risultare compromesse le capacità di consolidamento dei versanti da parte delle stesse specie.

Per valutare o stimare, direttamente o indirettamente, le grandezze indicate nel paragrafo A, così come la possibilità di errori nella scelta e nell'impianto dei vegetali, si ritiene utile monitorare periodicamente i seguenti fattori:

- stato della vegetazione;

- necessità e modalità di interventi di manutenzione, specie della vegetazione;
- sviluppo degli apparati vegetali epigei e ipogei;
- successo degli impianti in termini di fallanze e densità della copertura vegetale;
- condizioni di struttura del suolo in relazione alla sistemazione;
- resistenza meccanica delle opere;
- attivazione o modifica dei processi di evoluzione geomorfologica nel sito di intervento e nelle aree contermini;
- successo ecologico (popolamenti faunistici e specie vegetali);

Il rilevamento dovrà essere effettuato, a seconda dei casi, periodicamente o in occasione di eventi o di condizioni significative. Un primo elenco dei parametri da misurare, o da calcolare indirettamente, è il seguente:

1. *prima della realizzazione dell'intervento e alla fine della sperimentazione, a monte e a valle delle opere:*

- dinamiche geomorfologiche e sedimentologiche;
- situazione vegetazionale globale;
- condizioni di efficienza delle opere;
- stato ambientale globale (biomonitoraggio tramite indicatori).

2. *periodicamente (dopo ogni stagione vegetativa):*

- sviluppo delle specie vegetali inserite;
- rilievo fitosociologico;
- fallanze dell'impianto vegetale;
- grado di copertura e, nei contesti fluviali, percentuale di ingombro dell'alveo;
- presenza di specie non progettuali, di infestanti o propagoli;

Inoltre, negli ambiti fluviali, a seguito di eventi di piena:

- stima delle grandezze idrauliche di piena;
- comportamento della vegetazione;
- stato delle opere;
- stato dell'alveo e sua geometria;
- condizioni delle sponde e dei versanti connessi;

- condizioni delle traverse sperimentali;

Monitoraggio dei tempi e dei costi

A fronte dell'analisi dei fattori tecnici, assume particolare significatività anche il monitoraggio di altri due fattori essenziali agli effetti dello sviluppo applicativo dell'IN: i tempi e i costi di realizzazione. Tale monitoraggio deve riguardare la fase di cantiere e consiste nella codifica di ciascuna tipologia di lavoro. Si ottiene in tal modo la verifica delle analisi prezzi e delle reali capacità operative su scala locale, ovvero delle eventuali problematiche che possono incidere sulla fattibilità o l'efficienza.

Le verifiche relative ai costi riguardano anche la reperibilità in natura o sul mercato delle specie vegetali (arboree, arbustive ed erbacee), che devono essere scelte in modo accurato.

Altro importante aspetto riguarda i costi e le capacità relativi alla manutenzione e gestione delle opere, che si possono verificare per quanto possibile limitatamente al primo periodo di funzionamento.

Monitoraggio socio-economico

E' utile estendere il monitoraggio, ai fini della valutazione sull'applicabilità di interventi di IN, anche a fattori non strettamente tecnici quali, in particolare, la gestione del rapporto con l'uso del suolo nei terreni adiacenti e il rapporto con gli interessi dei fruitori. Si verifica infatti, da esperienze reali, come certe modalità di intervento possano entrare in conflitto con altri interessi sulle aree ripariali, oppure come invece possano trovare supporti coadiuvanti da parte di chi interagisce nella gestione del territorio. Quindi risulta importante verificare le modalità operative di gestione ottimale del territorio interessato da parte dei diversi soggetti coinvolti. Infine, l'accettazione di un certo criterio di governo del rischio ambientale rientra nei meccanismi culturali di crescita della sensibilità ambientale, che può essere favorita dal sostegno politico allo sviluppo di tali approcci.

Per raggiungere questi obiettivi, il "monitoraggio socio-economico" può comprendere tre aspetti: la verifica dell'atteggiamento dei proprietari dei terreni adiacenti alle opere e quello dei fruitori; la realizzazione di interviste e sondaggi di opinione, presso privati, associazioni, enti, attori qualificati; la verifica delle ricadute dirette e indirette in termini di creazione di reddito e di creazione di nuova occupazione con i soggetti privati coinvolti nella esecuzione delle opere e nella manutenzione delle stesse.

Gestione dei dati di monitoraggio

Va infine considerato l'aspetto più importante del monitoraggio: la gestione e l'interpretazione dei dati di rilevazione in funzione degli obiettivi preposti, cioè alle prestazioni e ai risultati che si

vogliono verificare. Purtroppo spesso gli ingenti sforzi dei monitoraggi vengono vanificati perché non viene previsto un metodo di interpretazione sistematico e un modello di valutazione oggettivo, in grado di garantire ai dati e ai riscontri ottenuti una opportunità utilizzo e di applicazione a situazioni differenti e più vaste rispetto a quelle analizzate direttamente. Si perde in tal modo l'opportunità di attribuire alle informazioni, correttamente rilevate, un significato di portata più generale rispetto a quella strettamente legata al solo caso oggetto di osservazione; i dati divengono quindi inutilizzabili perché non interpretabili e non correlati alle applicazioni. Per far questo nel modo più adeguato, deve essere prevista una metodologia specifica che può ad esempio basarsi sui seguenti criteri:

- codifica di "gradi di efficacia" di ciascun intervento, confrontando il progetto con le esperienze estere documentate e relazionandolo alle problematiche presenti e ai fattori economici e operativi;
- redazione di documentazione interpretativa sintetica (schedatura) in modo da offrire uno strumento di supporto operativo standardizzabile.

Di seguito è riportato, a titolo di esempio, l'elenco degli indicatori che sono stati monitorati nel già menzionato progetto di ricerca della Regione Toscana, relativo alla zona omogenea Chianti - sito Borro Buca dei Ladri (affluente F. Pesa), elenco definito in sede regionale e poi opportunamente dettagliato e calibrato in funzione del progetto in questione.

SCHEMA DEL MONITORAGGIO

AMBITI DI MONITORAGGIO O CATEGORIE	INDICATORI	MODALITA' DI CAMPIONAMENTO	ELABORAZIONI E PRODOTTO FORNITO
1 - MONITORAGGIO DELLA STAZIONE			
1.1 VERSANTE			
clima	-temperature -precipitazioni -umidità atmosferica	<i>raccolta dati da stazione esistente vicina, con periodicità mensile</i>	-bliclimogramma di Rivas-Martínez
pendenza	percentuale classi: 0-15;15-25;25-35;35-50;50-75;>75	verifica sul sito	schede, cartografia
esposizione		verifica sul sito	schede, cartografia
bilancio idrico	flussi idrici	raccolta di documentazione esistente	-bilancio di Thortenwait -stime idrologiche
specie vegetali	-arboree, arbustive, erbacee	rilievo fitosociologico della zona, prima e dopo l'opera, con aree di saggio permanenti nell'opera e nell'intorno	tabelle fitosociologiche
condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	-suolo: pH -% SLA - C/N - percentuale di sostanza organica- cationi/anioni principali presenti - capacità di scambio cationico (CSC); -geologia: substrato - permeabilità	raccolta campioni e analisi chimico-fisiche	relazione su pedologia e geologia, analisi statistiche
1.2 CORSO D'ACQUA			
descrizione del bacino di riferimento	-caratteristiche generali- ampiezza-inclinazione media- idrografia- etc.	analisi cartografie e informazioni esistenti	relazione, cartografia

clima	-temperatura -precipitazioni -umidità	raccolta dati da stazione esistente vicina, con periodicità mensile	bliclimogramma di Rivas-Martínez
esposizione		verifica sul sito	schede, cartografia
condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	-suolo: pH -% SLA - C/N - percentuale di sostanza organica- cationi/anioni principali presenti - capacità di scambio cationico (CSC); -geologia: substrato - permeabilità	raccolta campioni e analisi chimico-fisiche	analisi statistiche
portata	-minima -oscillazioni mensili -periodo di secca (se presente) -media -massima assoluta -storiche (a discrezione dei rilevatori) 100-200-500 anni	-misure idrometriche -raccolta di documentazione esistente -installazione di idrometro	-stime in base alle piogge -elaborazioni statistiche
forze in gioco	-trazione al fondo -trazione sulla sponda	analisi dei dati idrologico-idraulici	stime mediante modelli
specie presenti	-arboree, arbustive, erbacee	rilievo fitosociologico della zona, prima e dopo l'opera, con aree di saggio permanenti nell'opera e nell'intorno	tabelle fitosociologiche
2 - MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE OPERE			
2.1 SVILUPPO DEGLI APPARATI EPIGEI ED IPOGEI IN TEMPI DEFINITI			
lunghezza e densità degli apparati radicali	-lunghezza della radice principale -diametro alla base della radice primaria -peso in sostanza secca della parte ipogea	estrazione campioni (per le arboree una sola volta alla fine del programma, per le erbacee alla prima stagione vegetativa)	analisi statistica
accrescimento del fusto e dei polloni	-peso in sostanza secca della parte epigea (per le erbacee alla fine del 1° periodo vegetativo, per le altre durante il 3° periodo vegetativo) -altezza e diametro della parte epigea -rapporto tra peso in sostanza secca della parte epigea e di quella ipogea per le specie sia erbacee che arbustive ed arboree principali (da concordare)	raccolta campioni e loro preparazione (come sopra)	analisi statistica: numero di prove in quantità tale che la loro affidabilità statistica sia compresa nel limite $\pm s$
impiego di sostanze concimanti e rizogene	-grado di successo vegetativo	-confronto della riuscita degli impianti in presenza o assenza di tali interventi	analisi statistica
2.2 SUCCESSO DELLE PIANTAGIONI E RELATIVA DENSITA'	-percentuale di attecchimento in relazione al numero totale di esemplari d'impianto	-valutazione di tipo quantitativo al 3° anno: confronto tra parcelle con diversa data d'impianto	analisi statistiche
2.3 VERIFICA DEL DINAMISMO DELLA VEGETAZIONE			
rapporto fra le specie naturalizzate e quelle usate	-percentuale delle naturalizzate rispetto a quelle utilizzate	osservazioni sul campo e rilievo fitosociologico, alla fine del programma	analisi qualitative e quantitative
copertura vegetazionale	-gradi di copertura (%) della vegetazione (generale)	osservazioni sul campo e rilievo fitosociologico, alla fine del programma	analisi qualitative e quantitative
stato generale della vegetazione	-stato fitosanitario -rinnovamento naturale	verifica quadrati permanenti, alla fine del programma	-analisi qualitative e quantitative -struttura - descrizione
2.4 VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI DELLE OPERE			
efficienza delle strutture portanti e degli impianti	verifica delle opere rispetto alla loro condizione appena ultimate	osservazioni qualitative sul campo	-relazione

vegetali			
durata e affidabilità nel tempo dell'opera	verifica delle condizioni delle opere	-osservazioni qualitative sul campo -rilievi topografici di precisione	-relazione
3 - MONITORAGGIO DEGLI INTERVENTI			
3.1 REPERIBILITA' DELLE SPECIE VEGETALI			
individuazione delle fonti di approvvigionamento del materiale vivo secondo una scala di preferenza da verificare (escluse le piante radicate)	-scala di preferenza: -salvaguardia per riutilizzo del materiale vivo presente -reperimento e raccolta in luoghi adiacenti e confinanti alla zona di cantiere anche su proprietà privata (previa autorizzazione del proprietario) -se la stagione fosse avanzata o se è necessario intraprendere i lavori prima del periodo di riposo: reperimento del materiale in zone a quote maggiori sempre nelle vicinanze -impiego di materiale già in risveglio vegetativo, proveniente dalle zone circostanti con ausilio di sostanze rizogene -reperimento del materiale in ambito provinciale o regionale -acquisto del materiale in vivaio specializzato nella produzione di materiale per l'IN previa verifica da parte della D.L. della provenienza del seme o delle talee -scale di preferenza per altri materiali e particolarmente per il legname	analisi in fase progettuale e di esecuzione dei lavori	rapporto
individuazione delle fonti di approvvigionamento del materiale vivo secondo una scala di preferenza da verificare, per le piante radicate	-scala di preferenza: -acquisto del materiale in vivaio specializzato nella produzione di materiale per l'IN, con certificazione di origine -acquisto del materiale in vivaio forestale, con certificazione di origine -acquisto del materiale in vivaio di ornamentali, con certificazione di origine	analisi in fase progettuale e posteriormente sulla base della riuscita degli impianti	rapporto
3.2 ANALISI DEI TEMPI DI LAVORO	tempi necessari per l'esecuzione delle diverse fasi di realizzazione degli interventi	-definizione delle diverse fasi di lavoro -verifica in corso d'opera e tabellazione	-rapportino di lavoro per operai, con tempi operai e tempi macchine, effettivi e non, stimati o complessivi
3.3 CODIFICA DI CIASCUNA TIPOLOGIA DI LAVORO	componenti delle opere	verifica sul campo delle opere ultimate	-riassunto in forma di istogramma dell'apporto di ciascuna componente alla realizzazione finita dell'opera
3.4 NECESSITA' DI INTERVENTI DI MANUTENZIONE	evoluzione degli interventi e interferenze	verifica sul campo	-piano di manutenzione e piano di monitoraggio successivo (relazione)
4 - MONITORAGGIO SOCIO ECONOMICO			
4.1 OCCUPAZIONE CREATA	-operai impiegati -numero ore lavorative	verifica in corso d'opera	relazione
4.2 GARANZIE DI CONTINUITA' DI LAVORO	-numero di ore necessarie in relazione alla manutenzione prevista	stime	relazione
4.3 AUMENTO DELLA	-difficoltà riscontrate con le	verifica in corso d'opera	relazione

QUALIFICAZIONE DELLA MANODOPERA LOCALE	maestranze, operatori macchina, operai addetti al verde		
4.4 RAPPORTO FRA INTERVENTO E OPINIONE PUBBLICA	-grado di preferenza	interviste prima e dopo gli interventi	analisi qualitativa e rapporto
5 - MONITORAGGIO DELL'IMPATTO AMBIENTALE			
5.1 CREAZIONE DI UNA ASSOCIAZIONE VEGETALE DI QUALITÀ CORRISPONDENTE ALLA ZONA BIOCLIMATICA	-valutazione delle possibilità concrete di insediamento di comunità stabili e/o mature	-rilievo fitosociologico della zona, prima, dopo l'opera e alla fine del programma (2 anni), con aree di saggio permanenti nell'opera e nell'intorno	-analisi quali-quantitativa -rapporto -elaborati grafici
5.2 ANALISI DEGLI EFFETTI AMBIENTALI POSITIVI E NEGATIVI	-descrizione delle interferenze	-rilievo fitosociologico della zona, prima, dopo l'opera e alla fine del programma (2 anni), con aree di saggio permanenti nell'opera e nell'intorno -monitoraggio di ragni e Carabidi prima dell'intervento e alla fine del programma (2 anni)	-modello di interpretazione del grado di qualità ambientale sulla base degli indicatori -analisi statistica quali-quantitativa -rapporto -elaborati grafici
5.3 SUCCESSO ECOLOGICO (POPOLAMENTI FAUNISTICI)	-rilevamento status ante -rilevamento status post -valutazione dello status post (analisi da concordare)	-rilievo fitosociologico della zona, prima, dopo l'opera e alla fine del programma (2 anni), con aree di saggio permanenti nell'opera e nell'intorno -monitoraggio di ragni e Carabidi prima dell'intervento e alla fine del programma (2 anni)	-modello di interpretazione del grado di qualità ambientale sulla base degli indicatori -analisi statistica quali-quantitativa -rapporto -elaborati grafici

8.5.3 Aggiornamento e integrazione alle Linee Guida

Come è già stato più volte sottolineato in precedenza, le presenti linee guida costituiscono un primo indirizzo allo studio e alla realizzazione delle opere di IN sul territorio sardo. Pur partendo da un'analisi accurata del contesto ambientale di riferimento e stimando, sulla base dei riscontri analitici disponibili, che le tecniche qui individuate siano le più adeguate, tale valutazione andrà confortata sul campo applicativo a seguito di verifiche mirate. Sarà quindi necessario sperimentare le diverse tecniche presentate in relazione alle svariate condizioni fisiche, climatiche e ambientali di effettiva applicazione e ai diversi possibili contesti di intervento, individuando in tal modo i limiti applicativi effettivi e le tecniche migliori per ciascun caso specifico.

Dopo tale processo sarà perciò opportuno provvedere a un primo adeguamento delle linee guida. Successivi aggiornamenti, inerenti specificatamente le tecniche costruttive, sono poi auspicabili, via via che verrà messa a punto l'applicazione diffusa delle tecniche e il mercato del settore sarà a regime.

9 Cenno alle opere di ingegneria civile mitigate

9.4 Premessa

Laddove non fosse possibile, per ragioni ambientali o geotecniche, applicare le tecniche di IN, e quindi ove fosse necessario realizzare opere "grigie"⁸ (quali, in particolare: scogliere, gabbionate, materassi di inerti, terre rinforzate, georeti artificiali), si può cercare di ridurre l'impatto ambientale (perlopiù quello estetico) introducendovi vegetazione (semine, coltri di erbacee, piantagione di specie arbustive, inserimento di talee, picchettamenti legnosi, ecc.). Questi interventi, in molti casi, possono perseguire peraltro anche un miglioramento sul piano della resistenza e flessibilità dell'opera complessiva (Fig. 9.1).



Fig. 9.1 - Terre rinforzate utilizzate nel consolidamento di tratti di costa soggetti a fruizione turistica (Las Tronas, Alghero, SS)
- Foto G. Tilocca

In alcuni casi possono essere concepite opere complementari, ovvero integrate: parti con IN e parti con materiali inerti e/o artificiali. Considerate le spesso ostiche condizioni climatiche, geologiche e pedologiche presenti in Sardegna, diversi potranno essere i contesti interessanti da tali soluzioni. In alcuni casi possono sussistere potenzialità applicative del consolidamento o rivestimento di scarpate soggette a dissesto tramite blocchi di pietrame naturale, sia nel caso d'interventi su tratto di versante, sia sulle sponde fluviali.

Tuttavia, essendo tali opere di ingegneria civile già molto conosciute e oramai standardizzate, in questo studio ci si limiterà ad accennare alle tecniche relative alle componenti verdi a loro integrabili.

⁸ Definizione usata ormai abitualmente nel mondo degli addetti ai lavori dell'IN e riportata in documenti, pubblicazioni e convegni

Dal confronto con soluzioni geotecnologiche a carattere internazionale, ad esempio in Spagna (Mursia, Andalusia, Castiglia), si è potuto notare come la stabilizzazione di trincee di una certa altezza e sviluppo possa conseguirsi mediante l'impiego di rampe in massi ciclopici in pietra piuttosto che con fronti in cemento armato. Così pure si è notato un pragmatico ricorso alla pietra con malta nei casi in cui l'impalcato dei ponti appoggiasse su rilevati in terre o in cui queste ne rivestissero il substrato; ciò allo scopo di consolidare e proteggere una porzione che di solito risulta permanere esposta, e non poco, all'erosione in solchi da ruscellamento concentrato.

Soluzioni analoghe o con terre rinforzate o armate possono adottarsi per il rivestimento di argini e tratti di sponda che hanno subito nuove sagomature. E' opportuno infatti che le terre rimaneggiate non permangano esposte onde evitare vulnerabilità ad erosione e scalzamento.

Tali opere possono essere soggette a rinverdimento o comunque possono facilitare l'insediamento di vegetazione spontanea. Tuttavia non hanno niente a che vedere con le tecniche di IN né possono dar luogo a risultati sul piano ambientale e biotecnico a esse paragonabili. Occorre quindi valutare bene la necessità di adottare tali soluzioni, preferendo decisamente, come si è già ampiamente chiarito in precedenza, le tecniche di IN quando e ove possibile.

9.5 Elenco delle opere

Si riporta di seguito l'elenco delle opere che si possono considerare facenti parte delle tecniche di ingegneria civile a impatto ambientale non elevato, grazie alla loro configurazione, alle caratteristiche costruttive, ai materiali impiegati e, talvolta, all'aggiunta di vegetazione.

- Palificate, palizzate e viminate morte
- Scogliere rinverdite
- Gabbionate rinverdite
- Terre armate rinverdite
- Pennelli in massi
- Briglie in legname e pietrame
- Rampe in pietrame

9.6 *Progettazione e realizzazione*

Si faccia riferimento alle norme e alle linee guida tecniche "istituzionali", prodotte dagli enti pubblici nazionali preposti alla pianificazione e regolamentazione della difesa del suolo e dei relativi interventi. In particolare si segnalano i due manuali:

APAT (agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) – ora ISPRA

Dipartimento rischio tecnologico e naturale

Unità dipartimentale rischio idrogeologico

"Atlante delle opere di sistemazione dei versanti" (2002)

Collana manuali e linee guida

APAT (agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici)

Dipartimento difesa del suolo

Servizio istruttorie, piani di bacino, raccolta dati e tecnologie del sito

"Atlante delle opere di sistemazione fluviale" (2003)

Collana manuali e linee guida

I manuali sono scaricabili dal link: <http://www.isprambiente.it/site/it-IT/>

10 Bibliografia citata

- ARSIA, Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo e Forestale, 2003. Interventi di Ingegneria Naturalistica in Toscana: prime esperienze di monitoraggio. Quaderno n. 4/2003.
- Agence de l'eau Rhin-Meuse, 1994. Etude Interagences de l'eau en France, Bilan des réalisations du génie biologique en France. Ministère de l'Environnement, Paris.
- Angius R. & Bacchetta G., 2009. Boschi e boscaglie ripariali del Sulcis-Iglesiente (Sardegna Sud-Occidentale). *Braun-Blanquetia* 45: 1-64.
- A.N.P.A. - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2001. Linee Guida V.I.A. [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Valutazione_di_Impatto_Ambientale_\(VIA\)/](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Valutazione_di_Impatto_Ambientale_(VIA)/)
- Arrigoni P.V., Camarda I., Corrias B., Diana S., Raffaelli M. & Valsecchi F., 1977-91. Le piante endemiche della Sardegna 1-202. *Boll. Soc. Sarda Sci. Nat.* 16-28.
- Aru A., Baldaccini P.M. & Vacca A., 1991. Carta dei Suoli della Sardegna, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari, Assessorato della Programmazione e Bilancio ed Assetto del Territorio della Regione Autonoma della Sardegna.
- Bacchetta G., Iriti G. & Pontecorvo C., 2005. Contributo alla conoscenza della flora vascolare endemica della Sardegna. *Inf. Bot. Ital.* 37 (1, parte A): 306-307.
- Bacchetta G., Filigheddu R., Bagella S. & Farris E., 2007. Allegato II. Descrizione delle serie di vegetazione. In: De Martini A., Nudda G., Boni C., Delogu G. (Eds.), Piano forestale ambientale regionale. Regione Autonoma della Sardegna – Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Cagliari.
- Bacchetta G. & Pontecorvo C., 2005. Contribution to the knowledge of the endemic vascular flora of Iglesias (SW Sardinia-Italy). *Candollea* 60 (2): 481-501.
- Bacchetta G., Bagella S., Biondi E., Farris E., Filigheddu R. & Mossa L., 2009. Vegetazione forestale e serie di vegetazione della Sardegna (con rappresentazione cartografica alla scala 1:350.000). *Fitosociologia* 46 (1) suppl. 1: 3-82.
- Bacci M. & Paltrinieri L., 2006. Ingegneria naturalistica: quella vera e quella falsa. In *Alberi e Territorio*, N. 10/11
- Bacci M. & Preti F., 2004. La vegetazione ripariale nei corsi d'acqua. *Alberi & Territorio* n.

- Barbey W., 1885. *Florae Sardoae Compendium*. Catalogue raisonné des Végétaux observés dans l'île de Sardaigne. Georges Bridel Editeur, Lausanne.
- Bocchieri E., 1986. La connaissance et l'état de conservation de la flore en Sardaigne. *Ecologia Mediterranea* 21 (1-2): 71-81.
- Braun-Blanquet J., (1932) 1964. *Pflanzensoziologie*, 3a ed. Springer-Ver., Wien.
- Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A. & Pasci S., 2001. Geologia della Sardegna. Note illustrative alla Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000. Mem. Decsr. Carta Geol. d'It., 60, pp. 283, Roma.
- Chessa P.A. & Delitala A., 2007, Il clima della Sardegna. SAR, Servizio Agrometeorologico Regionale. <http://www.sar.sardegna.it/publicazioni/notetecniche/note.asp>
- CIRF (Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale), 2006. La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio. Mazzanti Editori, Venezia.
- Cocozza T., Jacobacci A., Nardi R. & Salvadori I., 1974. Schema stratigrafico-strutturale del massiccio Sardo-Corso e minerogenesi della Sardegna. *Mem. Soc. Geol. It.*, 13: 85-186.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A. & Blasi C. (Eds.), 2005. An annotated checklist of the Italian vascular flora. Palombi Editori, Roma.
- Conti F., Manzi A. & Pedrotti F., 1997. Liste rosse regionali delle piante d'Italia. Dipartimento di Botanica ed Ecologia, Università degli Studi di Camerino, Camerino.
- Conti F., Alessandrini A., Bacchetta G., Banfi E., Barberis G., Bartolucci F., Bernardo L., Bonacquisti S., Bouvet D., Bovio M., Brusa G., Del Guacchio E., Foggi B., Frattini S., Galasso G., Gallo L., Gangale C., Gottschlich G., Grünanger P., Gubellini L., Iiriti G., Lucarini D., Marchetti D., Moraldo B., Peruzzi L., Poldini L., Prosser F., Raffaelli M., Santangelo A., Scassellati E., Scortegagna S., Selvi F., Soldano A., Tinti D., Ubaldi D., Uzunov D., Vidali M., 2007. Integrazioni alla Checklist della flora vascolare italiana. *Natura Vicentina*, 10: 5-74.
- Cornelini P. & Sauli G., 2001. Applicazione dell'Ingegneria Naturalistica in zone mediterranee della Sardegna nell'ambito del progetto pilota UE. In: Bifulco C. (ed.). *Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio (NA): 80-82.
- Fenu G. & Bacchetta G., 2008. La flora vascolare della Penisola del Sinis (Sardegna occidentale). *Acta Botanica Malacitana* 33: 91-124.
- Ferrarini E., Ciampolini F., Pichi Sermolli R.E.G. & Marchetti D., 1986. *Iconographia Palynologica Pteridophytorum Italiae*. *Webbia* 40 (1): 1-102.

- Findlay, Bosshardt, Noetzi. Pubblicazioni varie dal 1962 al 2002
- Florineth F., 2007. Piante al posto del cemento. Manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico. Il Verde Editoriale, Milano.
- Lachat B., 1994. Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'Environnement, Paris.
- Ladero Alvarez M., Díaz González T.E., Penas Merino A., Rivas-Martínez S. & Valle Gutiérrez C., 1987. Datos sobre la vegetación de las Cordillera Central y Cantábrica. Itinera Geobot. 1: 3-147.
- MATT (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio), 2005. PODIS Progetto Operativo Difesa Suolo, Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Meffe G.K. & Carroll C.R., 1994. Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Mori A., 1966. XVIII Sardegna. In Migliorini (ed.), Le Regioni d'Italia. UTET, Torino.
- Noetzi K.P., 2002. Ursachen und Dynamik von Fäulen an Holzkonstruktionen im Wildbachverbau. Zürich.
- Odum E.P., 1983. Basic Ecology. CBS College Publishing.
- Pelletier J., 1960. Le relief de la Sardaigne. Mem. et Docum. Inst. des Etudes Rhodoniennes, 13, pp. 484, Univ. Lyon.
- Pignatti S., 1982. Flora d'Italia, 1-3. Edagricole, Bologna.
- Pignatti S., 1994. Ecologia del paesaggio. UTET, Torino.
- Polomski, J., Kuhn, N., 1998: Wurzelsysteme. WSL, Birmensdorf.
- R.A.S. - Assessorato dei Lavori Pubblici, 2004. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia Legge 267 del 3-08-1998. <http://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=28677&v=2&c=9&t=1>
- R.A.S. - Piano Paesaggistico Regionale, Legge Regionale 25 novembre 2004, n° 8. <http://www.sardegna.territorio.it/paesaggio/pianopaesaggistico.html>
- R.A.S. - Assessorato della Difesa dell'Ambiente & A.P.A.T., 2006. Progetto I.F.F.I.-Regione Sardegna. Rapporto finale pp. 38 + Tavola F.T. + DVD geodatabase.
- R.A.S. - Assessorato dell'Industria, 2007. Piano Regionale Attività Estrattive (PRAE).

- R.A.S. -Assessorato dei Lavori Pubblici, 2009. Prezzario Regionale dei Lavori Pubblici.
<http://www.regione.sardegna.it/j/v/572?s=1&v=9&c=4365&va=x&esp=1>
- Regione Lazio, 2002. Manuale di Ingegneria Naturalistica, Applicabile al settore idraulico.
http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica/manuale_sett_idraulico.php?vms=1
- Regione Lazio, 2003. Manuale di Ingegneria Naturalistica, Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose.
http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica/manuale_cave.php?vms=2
- Regione Lazio, 2006 Manuale di Ingegneria Naturalistica. Volume 3: Sistemazione dei versanti.
http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica/manuale_versanti.php?vms=3
- Regione Lombardia, 2000. Approvazione Direttiva "Quaderno delle opere tipo di Ingegneria Naturalistica". BURL 1° S.S. al n. 19 del 9/05/2000.
- Rivas-Martinez S. & Rivas-Saenz S., 1996-2009. Worldwide Bioclimatic Classification System, Phytosociological Research Center, Spain. <http://www.globalbioclimatics.org>
- Rivas-Martínez S., Sánchez-Mata D. & Costa M., 1999. North American boreal and western temperate forest vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II). *Itinera Geobot.* 12: 5-316.
- Rivas-Martínez S., Penas A. & Díaz T.E., 2001. Biogeographic map of Europe (scale 1:16.000.000). Cartographic Service, University of León – Spain.
- Rivas-Martínez S., Díaz T.E., Fernández-Gonzalez F., Izco J., Loidi J., Lousã M. & Penas A. 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. *Itinera Geobot.* 15 (1): 5-432.
- Schiechtl H. M., 1991. Bioingegneria forestale. *Biotechnica naturalistica*. Edizioni Castaldi, Feltre (BL).
- Schiechtl H. M. & Stern R., 1992. *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*. Edizioni Arca, Gardolo (TN).
- Schiechtl H. M. & Stern R., 1996. *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra*. Ed. Castaldi. Feltre (BL).
- Tilocca G., Dore M. & Deroma M.A., 2002. La carta inventario dei fenomeni franosi e alluvionali nella provincia di Sassari (Sardegna). *Atti dei Convegni Lincei, "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive"*, pag. 505-518, XIX Giornata dell'Ambiente, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Tilocca G., Forci A., Lai M.R., (2010). La Paleofrana di Peru (Castelsardo-SS): caratterizzazione, litostratigrafia e rapporti con altri depositi continentali quaternari. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, I, pag. 107-117, La Sapienza-Roma.

Tutin T.G., Burges N.A., Valentine D.H., Walters S.M. & Webb D.A. (Eds.), 1964-80. *Flora Europaea* 1-5. Cambridge University Press, Cambridge.

Vacca A., Loddo S., Ollesch G., Puddu R., Serra G., Tomasi D. & Aru A., 2000. Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia (Italy). *Catena* 40: 69-92.

Williams C., Davis K. & Cheyne P., 2003. *The CBD for Botanists: An Introduction to the Convention on Biological Diversity for people working with botanical collections*. Royal Botanic Gardens, Kew.

11 Ulteriore documentazione utile

Si è detto in premessa che in questo documento si è preferito evitare di ripresentare la caratterizzazione delle tecniche di IN già ampiamente trattata dalle linee guida ministeriali e da altri manuali che assumono una funzione di riferimento ufficiale.

Per quanto concerne quindi gli ulteriori criteri e i dettagli costruttivi e progettuali delle tecniche di IN, si faccia riferimento in particolare ai seguenti testi e siti internet:

AA.VV., 1993. Manuale tecnico di ingegneria naturalistica. Regione Emilia Romagna, Regione Veneto.

APAT, 2002. Atlante delle opere di sistemazione dei versanti. Secondo aggiornamento
http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Manuali_e_linee_guida/Documento/manuali_lineeguida_2002_10_2ediz.html

APAT, 2006. Fenomeni di dissesto geologico - idraulico sui versanti. Classificazione e simbologia.
http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Manuali_e_linee_guida/Documento/manuali_2006_39.html

Bifulco C. (ed.), 2001. Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio (NA).

Carbonari A. & Mezzanotte M., 1993. Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio. Provincia Autonoma di Trento.

PROGECO, 2007. Linee guida per l'utilizzo dell'ingegneria naturalistica e delle buone pratiche di gestione del territorio in ambito mediterraneo. EAF, IMONT, REGIONE UMBRIA, IST-CEHHIDRO, CCDR-ALGARVE, UTH, INRGREF.

Nardini A., 2005. Decidere l'ambiente con l'approccio partecipato, Mazzanti editori, Venezia
Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, Azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo della Provincia di Bolzano, Opere di difesa dalle valanghe nella provincia di Bolzano. Bolzano.

Provincia di Milano, 2003. Linee Guida per Interventi di Ingegneria Naturalistica lungo i corsi d'acqua. Quaderno del Piano Territoriale n.20, Milano.

Provincia di Terni & Agenzia Umbria Ricerche, 2003. Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni, Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni.
http://www.provincia.terni.it/Urbanistica/ptcp/Manu_Ing.htm

R.A.S. Assessorato della Difesa dell'Ambiente, 2007. Piano Forestale Ambientale Regionale (PFAR) <http://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=71168&v=2&c=1260&t=1>

R.A.S. Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna, Servizio Tutela e Gestione delle Risorse Idriche, Vigilanza sui Servizi Idrici e Gestione delle siccità, 2009-2010. Piano Regionale di Gestione del Distretto Idrografico.
http://www.regione.sardegna.it/index.php?xsl=509&s=1&v=9&c=6697&tb=6695&st=7&no_desc=2

Regione Emilia Romagna & Regione Veneto, "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica", Bologna 1993.

Regione Emilia Romagna, Provincia di Modena, 1984. Progettazione di passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi. Atti del seminario tecnico regionale di Modena, 7/12/1984.
<http://www.provincia.modena.it/allegato.asp?ID=55901>

<http://www.indicefunzionalitafluviale.it/ingegnerianaturalistica.htm>

<http://www.cirf.org>

www.difesadelsuolo.eu

Si fa tuttavia presente che in questi testi e siti, principi e tecniche non concordano sempre con quanto riportato dagli scriventi nel presente lavoro, in quanto non si ritengono sempre condivisibili (del tutto o in parte) o idonei alla realtà sarda. Pertanto, nel caso di discordanza, si raccomanda di far prioritariamente riferimento alle presenti Linee Guida.

12 Allegati

1. Esperienze e prospettive sull'impiego di specie erbacee nel recupero ambientale in Sardegna
2. Schede di caratterizzazione dei siti esaminati, rappresentativi per la valutazione dell'applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica in Sardegna
3. Schede tecniche-illustrative delle opere di Ingegneria naturalistica proponibili per interventi di difesa del suolo in Sardegna
4. Analisi dei costi delle opere di Ingegneria naturalistica proponibili per interventi di difesa del suolo in Sardegna