

13.1 Strade, autostrade, ferrovie, canali: alterazione e distruzione degli ambienti presenti

La costruzione di una strada, di una ferrovia, o comunque, di un'infrastruttura lineare generalmente produce una "ferita" sulla vegetazione e sulla fauna del luogo, con la perdita dell'*habitat*. Questo processo è irreversibile e non può essere mitigato, ma soltanto compensato tramite il ripristino di un'area naturale, che a lungo termine possa sviluppare le stesse caratteristiche che aveva l'area coinvolta prima dei lavori (Dinetti, 2000). Le modifiche che si producono sono di carattere ecologico (luce, vento, temperatura, umidità, suolo) che comportano ulteriori cambiamenti nella quantità e composizione delle specie che formano le comunità animali e vegetali (Box, Forbes, 1992).

Non sempre però interventi di questo tipo sul territorio producono aspetti negativi; nel caso in cui la strada attraversi una zona di scarso valore ambientale, ad esempio, gli impatti di questo tipo saranno limitati e tramite un'opportuna gestione dei margini con funzioni di "corridoio faunistico" si potrà addirittura migliorare la rete ecologica locale (Dinetti, 2000). Il contrario, ovviamente, si verifica se la strada attraversa o costeggia un sito di elevato valore naturalistico.

In queste circostanze, oltre alla perdita netta di *habitat*, occorre considerare la riduzione dell'omogeneità e della compattezza dell'ecosistema, nonché l'incremento dell'"effetto margine", ovvero della particolare situazione che si verifica nella fascia di transizione tra due ambienti diversi, zona in cui si innescano particolari condizioni ecologiche (ombreggiamento, umidità, temperature, predazione, disturbo) (Dinetti, 2000).

In questo particolare contesto, l'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è riconducibile alla realizzazione di elementi vegetali lineari da affiancare a infrastrutture stradali o non caratterizzate da un'elevata impermeabilità ecologica. Si tratta di realizzare sistemazioni con specie arboree e/o arbustive con lo scopo di costituire corridoi ecologici per la fauna, ma anche per un miglioramento estetico del paesaggio: l'impermeabilità delle infrastrutture lineari (strade, ferrovie, ecc.) può essere ridotta con particolari accorgimenti quali sottopassi per la microfauna. A tali infrastrutture lineari possono essere associati anche ecosistemi filtro (aree umide) in cui convogliare le acque di ruscellamento superficiale. Tali elementi lineari artificiali spesso delimitano del-

le aree contenute interessate da vegetazione infestante che possono essere oggetto anch'esse di interventi di riqualificazione naturalistica. Tali elementi vegetali svolgerebbero non solo una funzione ecologica e paesaggistica ma anche un'importante funzione di igiene pubblica con il loro effetto schermante su rumore e polveri (Lombardi, 2000).

13.1.1 Soluzioni progettuali

La pianificazione della rete viaria dovrebbe evitare i siti di importanza speciale per la biodiversità affinché aree di interesse, anche generico, siano distrutte o danneggiate. È necessario prevedere durante la fase di progettazione l'impermeabilizzazione del suolo possibilmente non usando esclusivamente cemento o asfalto, particolarmente dannosi per gli assetti idrogeologici e gli equilibri ecologici del sito in questione. Occorre quindi considerare, ove possibile, l'uso di autobloccanti a griglia, soprattutto nei parcheggi e lungo i viali alberati. Per diminuire gli effetti sulle falde da parte delle strade costruite in trincea, è possibile utilizzare materiali idonei per mantenere i flussi di falda inalterati (*geoliner*).

Dove vengono intersecate faglie geologiche può essere deposto uno strato di bentonite al fine di controbilanciare la fuoriuscita d'acqua. La bentonite è un materiale argilloso naturale che limita la permeabilità del terreno argilloso vero e proprio (Dinetti, 2000).

Per diminuire il disturbo da rumore, inevitabile in questi cantieri, è opportuno usare asfalto fonoassorbente (*Sound Suppressing Asphaltic Concrete - SSAC*), che riduce l'ampiezza della zona disturbata dell'80%.

Strade costruite completamente o parzialmente in trincea (circa 3 m sotto il piano campagna) riducono sia l'impatto visivo sia il disturbo (per le persone e per la fauna).

Un problema che coinvolge la fauna è il superamento di queste infrastrutture per le loro primarie esigenze. È quindi preferibile costruire strade che corrono su viadotto, sfruttando tutte quelle situazioni orografiche (canali, piccole valli) che consentono, almeno a tratti, la libera circolazione degli animali inferiormente. Consigliabili sono le barriere spartitraffico in siepi, che consentono alla fauna di attraversare la strada ed è in più una soluzione valida esteticamente, rispetto al tradizionale ed asettico *new jersey* che costituisce una barriera insormontabile per la fauna finita accidentalmente sulla strada.

A titolo d'esempio si riporta da M. Dinetti (2000)

Tab. 13.1 - Principali movimenti effettuati dagli animali

<p>I principali movimenti degli animali possono essere classificati come:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>movimenti giornalieri</u> tra zona di riposo e area di alimentazione; • <u>migrazioni stagionali</u> tra quartieri di riproduzione e di svernamento; • <u>movimenti irregolari</u> ricerca di nuovo territorio, erratismo giovanile, animali attratti nei pressi delle strade dallo sviluppo di vegetazione lungo i bordi, dalla presenza di cibo o dallo scioglimento della neve in inverno, spostamenti causati dal disturbo derivante da attività antropiche; • <u>immigrazione</u> alla ricerca di nuove aree dove insediarsi.
<p>Sulla base delle caratteristiche delle diverse specie, gli animali tentano di superare un ostacolo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • passandoci attraverso; • passandoci al di sotto; • passandoci sopra (anche in volo); • aggirandolo.

una tabella in cui sono raggruppati i principali movimenti effettuati dagli animali (tab. 13.1). I metodi per limitare i problemi con la fauna derivanti dal traffico delle strade possono essere risolti:

- aumentando la consapevolezza in chi guida (segnali stradali, campagne educative);
- riducendo l'attività di attraversamento dell'animale o cambiandone le modalità (recinzioni, riflettori, repellenti, sagome anticollisione volatili);
- con strade "impermeabili", assicurate da una recinzione efficiente.

I problemi che si incontrano con la costruzione di ferrovie sono analoghi a quelli delle strade, con qualche differenza:

- le ferrovie sono in genere più strette delle strade e questo facilita il dimensionamento degli attraversamenti e, di conseguenza, ne favorisce l'uso da parte degli animali;
- i tratti di ferrovia più a rischio sono i passaggi sui corsi d'acqua, gli accessi delle gallerie, le zone di ingresso e di uscita dalle aree boscate ed i passaggi lungo strette strisce di bosco.

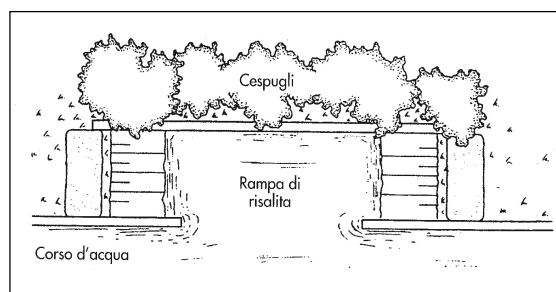
Per scegliere la specie-*target* su cui basare gli interventi, si può seguire uno dei seguenti criteri (Dinetti, 2000):

- realizzare le misure per il gruppo di animali che fa riferimento alla specie-*target* rappresentante o per quelle di cui si dispongono informazioni o, ancora, per quelle che riscuotono un interesse pubblico;
 - costruire, ove possibile, i passaggi più ampi e ripristinare l'*habitat* a somiglianza di quello circostante;
 - focalizzare l'attenzione sulle specie in pericolo.
- Anche i canali sono considerati delle opere infrastrutturali di tipo lineare e, come nel caso di strade e ferrovie, possono essere d'impedimento per gli animali terrestri, o nuotatori poco esperti, ed addirittura causa d'annegamento per quelli che finiscono in acqua.

L'"attraversabilità" di un corso d'acqua da parte degli animali dipende dai seguenti fattori:

- profondità del canale;
- ampiezza;
- velocità della corrente d'acqua;
- tipo di argini e pendenza delle sponde.

Fig. 13.1 - Rampa di risalita vista dall'alto: la vegetazione facilita l'individuazione del punto di risalita e nasconde gli animali



Fonte: Dinetti, *Infrastrutture Ecologiche*, 2000, modificato.

Un corso d'acqua "ideale" al facile attraversamento degli animali dovrebbe possedere le seguenti caratteristiche:

- sponde naturali (non in cemento o in pietra) poco ripide, che degradino dolcemente verso l'acqua;
- presenza di apposite recinzioni o risalite verso la terraferma, per quegli animali finiti accidentalmente in acqua.

Una delle opere che può evitare l'annegamento degli animali è la *rampa di risalita*.

Questo tipo di strutture sono disposte lungo il canale ad intervalli regolari, alternate su entrambe le rive. Le rampe hanno generalmente una lunghezza compresa tra 300 ÷ 600 m e 50 ÷ 100 m a seconda della taglia degli animali.

Il materiale più idoneo per evitare lo scivolamento degli animali è il metallo trattato antiruggine.

Nella **figura 13.1** se ne riporta un esempio.

13.2 Ecosistemi filtro

Nelle zone in cui si prevede una sistemazione ambientale, è di estrema importanza considerare, unitamente alle caratteristiche biotecniche delle specie impiegate e alla loro capacità di propagazione (cfr. cap. 10), anche le caratteristiche ecologiche dell'area d'intervento

e delle specie da utilizzare. È per questo motivo che gli interventi di Ingegneria Naturalistica, quando utilizzati, permettono di risolvere problemi di dissesto idrogeologico a basso impatto ambientale e di riqualificazione dell'ambiente. Gli interventi di Ingegneria Naturalistica potrebbero quindi essere positivamente preceduti da analisi propedeutiche sulla vegetazione e la flora dell'area di intervento, e di un'"area vasta" circostante in grado di ben rappresentare la variabilità dei locali ecosistemi (Chiti-Batelli, Lombardi, Sposimo, 2000). Tutto ciò per aver chiaro il quadro dinamico locale, attraverso la realizzazione di cartografie della vegetazione su base fitosociologica ove le diverse formazioni sono riunite nelle serie di appartenenza (serie ipsofile, serie del faggio, ecc.).

In particolare, risultano di estremo interesse applicativo la conoscenza, per una data stazione, delle "associazioni pioniere su suoli grezzi e della loro successione attraverso le associazioni seguenti fino all'associazione finale" (Schiechl, 1991).

Si riportano di seguito alcune delle analisi propedeutiche consigliate in ambito naturalistico, in considerazione delle caratteristiche dell'area di intervento.

- **Flora e vegetazione:** l'indagine della flora e della vegetazione è finalizzata all'analisi e alla comprensione del locale dinamismo ecosistemico. Queste componenti rappresentano, infatti, degli indicatori della qualità di un ecosistema, evidenziando con la loro variabilità l'andamento (influyente) dell'attività antropica (Greco, Petriccione, 1991). La vegetazione può essere studiata sotto diversi aspetti relativi ai caratteri fisionomici, alla composizione floristica, al tipo di utilizzazione antropica, ecc. Tutte le informazioni che ne derivano sono per questo interessanti in ambito di progettazione ambientale (Lebrun, 1977; Krzaklewski, 1995; Paiero *et al.*, 1996).
- **Fauna:** nelle tipologie d'intervento che hanno come fine il ripristino ambientale, è fondamentale effettuare anche un'indagine che renda note le principali presenze faunistiche nella stazione d'intervento, in modo da evitare che l'intervento pregiudichi la sopravvivenza di specie di interesse ecologico o naturalistico, favorendo, invece, un ottimale sviluppo faunistico dell'area. Va ricordato infatti che la fauna ricopre un ruolo non secondario nella buona riuscita dell'intervento di Ingegneria Naturalistica, essenzialmente per due aspetti principali:
 - **diffusione della vegetazione:** molti gruppi animali contribuiscono alla disseminazione di specie erbacee, arbustive ed arboree negli anni successivi all'intervento, grazie ai loro spostamenti e alle loro primarie attività vitali;
 - **stabilità della vegetazione:** con il progredire della successione ecologica, il loro ingresso contribuisce a dare stabilità alle comunità floro-faunistiche originatesi a segui-

to dell'intervento (Neugebauer, Scozzafava, 1995) e quindi, in ultima analisi, al successo dell'intervento stesso.

- **Avifauna:** la classe degli Uccelli rappresenta uno dei *taxa* animali maggiormente utilizzati nelle analisi per la definizione dei livelli di qualità ambientale (ad es. Blana 1980; Fuller, Langslow, 1986). Da numerosi lavori su questo argomento sono stati messi a punto indici che determinano il "valore ornitologico" di un'area, utili, durante la fase di pianificazione territoriale, per l'identificazione delle aree di maggiore interesse conservazionistico. Vi sono anche altri indici che consentono uno studio più approfondito dell'ambiente, con la valutazione, ad esempio, della qualità dell'acqua in base ai popolamenti di macroinvertebrati (cfr. Ghetti, 1995). Negli interventi con tecniche di Ingegneria Naturalistica, bisogna tenere presenti i diversi ambiti in cui operare:
 - **ambito fluviale e ripariale:** è importante lo studio dell'avifauna nidificante e migratoria;
 - **ambiente montano e collinare:** è sufficiente la conoscenza dell'avifauna nidificante;
 - **ambiente costiero e siti degradati:** sarebbe opportuno risalire alle conoscenze su tutti gli aspetti fenologici locali dell'avifauna. Negli interventi di ripristino di aree estrattive particolare attenzione andrà posta nell'accertarsi che le pareti non siano utilizzate come sito di nidificazione di particolari specie a distribuzione localizzata (falco pellegrino, gruccione, topino, ecc.).
- **Fauna acquatica:** altrettanto utile ed importante, per lo studio degli ecosistemi, risulta l'analisi della qualità delle acque esaminando il popolamento di macroinvertebrati acquatici con il metodo EBI (Ghetti, 1986; Id., 1995), già accennato nel punto precedente. L'Indice Biotico Estesio, è stato messo a punto da Ghetti e si basa sull'analisi della comunità di macroinvertebrati che popolano un corso d'acqua. Questa comunità riflette nelle sue caratteristiche quali-quantitative lo stato di salute dell'ambiente acquatico. Il popolamento di macroinvertebrati è costituito da animali bentonici, superiori a 1 mm di lunghezza, che comprendono gli stadi di sviluppo di vari gruppi di insetti, oltre a crostacei, anellidi, turbellari e molluschi; questi occupano vari livelli della rete trofica e comprendono vari tipi di erbivori, detritivori e carnivori. La sensibilità di alcuni di questi organismi rispetto alle condizioni chimiche e fisiche delle acque e dei substrati in cui vivono, e la loro permanenza nell'ambiente, sono caratteristiche che li rendono capaci di registrare le eventuali alterazioni in maniera globale ed integrata nel tempo (Chiti-Batelli, Lombardi, Sposimo, 2000).
- **Valutazione dell'ecosistema fluviale:** nel caso d'interventi di Ingegneria Naturalistica da effettuare nei corsi d'acqua, informazioni utili potrebbero derivare anche da un'analisi propedeutica dello stato complessivo dell'eco-

sistema fluviale da realizzare utilizzando la metodologia RCE-2 (Siligardi, Maiolini, 1993), che considera lo stato di conservazione dell'alveo e della fascia ripariale. È un indice di tipo fisionomico finalizzato alla valutazione della qualità globale dell'ecosistema fluviale, tramite la stima del grado di naturalità, funzionalità e dinamica delle sue componenti. La realizzazione di queste analisi (EBI, fauna ittica, RCE-2), eventualmente affiancate da altre analisi chimico-fisiche, in un tempo successivo all'intervento di sistemazione, potrebbe fornire utili indicazioni sull'evoluzione complessiva dell'ecosistema acquatico (monitoraggio) e suggerire eventuali interventi correttivi.

13.2.1 L'Ingegneria Naturalistica quale strumento di riqualificazione e rinaturalizzazione di habitat ed ecosistemi

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica possono qualificarsi come uno strumento idoneo per interventi destinati alla creazione (neo-ecosistemi) o all'ampliamento di *habitat* rari, o in ogni caso di notevole interesse floristico e/o faunistico. La realizzazione di neo-ecosistemi ha oggi un ruolo fondamentale legato non solo ad aspetti di conservazione naturalistica (*habitat* di specie rare o minacciate, unità di flusso per materia ed energia, corridoi ecologici, ecc.) ma anche al loro potenziale valore economico-sociale (sorgenti di prodotti rinnovabili, "effetto tampone" rispetto a inquinamenti e dissesti idrogeologici, valore turistico-ricreativo, ecc.) (Malcevski *et al.*, 1999).

I principali interventi di recupero ambientale con tecniche di Ingegneria Naturalistica, prevedono applicazioni meno complesse di quelle impiegate per i dissesti idrogeologici (grate, palificate, ecc.) e sono costituiti prevalentemente da:

- semine (a spaglio, idrosemina o con coltre protettiva);
- collocazione di talee;
- piante radicate (semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree);
- piote o zolle erbose;
- rizomi (prevalentemente utilizzate per la creazione di canneti).

Può risultare comunque indispensabile l'uso di pietrame, legname, reti metalliche, sintetiche o in fibra naturale, qualora debbano essere risolti problemi di instabilità e debba essere realizzato un propedeutico recupero morfologico dell'area di intervento (ad esempio, nel caso del recupero di discariche di cava).

Gli interventi di riqualificazione di aree degradate, mediante l'utilizzo delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, possono quindi raggiungere l'obiettivo di ricostituire *habitat* e di creare o ampliare i corridoi ecologici, unendo quindi l'Ingegneria Naturalistica all'Ecologia del Paesaggio (Ingengoli, 1990; Wood, 1990), ad esempio:

- da una cava abbandonata in area golenale si può ricreare un'area umida;
- far nascere un prato arbustato su una discarica;
- si può riqualificare ed ampliare la vegetazione ripariale lungo un corso d'acqua;
- progettare un canneto in una cassa d'espansione.

Gli interventi di recupero e consolidamento delle sponde fluviali costituiscono uno dei casi più frequenti di applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica e al tempo stesso tali ambienti costituiscono gli ecosistemi oggi più alterati e spesso fortemente condizionati da numerosi interventi di "regimazione".

È importante in questo contesto conoscere la zonizzazione ecologica della vegetazione ripariale, le specie erbacee annuali dei greti fluviali:

- fascia a salici (*Salix purpurea*, *Salix eleagnos*, ecc.) tipica delle sponde frequentemente sommerse;
- fascia delle specie arboree igrofile (*Salix alba*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*);
- fascia delle specie arboree mesoigrofile su suoli più evoluti (*Quercus robur*, *Fraxinus oxycarpa*, *Ulmus minor*, ecc.).

La presenza d'anse con minore velocità della corrente può consentire inoltre la presenza di canneti (spesso a dominanza di *Phragmites australis*) o di prati allagati (Lombardi, 2000). Questa zonizzazione, con le corrispondenti associazioni vegetali, deve naturalmente variare in relazione alla diversa collocazione geografica ed alle caratteristiche dell'area d'intervento; inoltre, ha un ruolo fondamentale nella scelta delle specie utilizzate negli interventi di Ingegneria Naturalistica.

Le condizioni stazionali potranno variare tra corsi d'acqua montani di alta quota ed elevate pendenze d'alveo, dove la fascia ripariale è spesso esigua, a zone di medio e basso corso d'acqua, con ampi greti fluviali e aree golenali spesso interessate da associazioni ripariali di interesse naturalistico.

13.2.2 Depurazione naturale delle acque

I trattamenti di fitobiodepurazione delle acque reflue tramite bacini collocati a valle dei sistemi tradizionali di depurazione permettono la rimozione di materiali ossidati o stabilizzati nei trattamenti precedenti, mediante la funzione di assimilazione degli elementi vegetali di alcuni prodotti finali (composti dell'azoto, del fosforo, del magnesio). Queste sostanze sotto forma di nutrienti, se non fossero "rimosse" provocherebbero uno stato generale di atrofia nei corpi d'acqua riceventi, causando alterazioni fisico-chimiche che comprometterebbero la vita degli organismi acquatici, l'igiene e la salute pubblica. I valori di BOD (domanda biochimica d'ossigeno) e di COD (domanda chimica di ossigeno), vengono anch'essi diminuiti.

L'interesse per la coltivazione di Macrofite e

Microfite in acque di scarico risale a circa 50 anni fa (Bold, 1942; Dymond, 1948; Thomas, Kraus, 1954; Oswald, Golueke, 1968; Boyd, 1970) ed ebbe come scopo iniziale lo sfruttamento dei processi naturali della bioconversione fotosintetica e dell'assimilazione dei nutrienti.

Vediamo più in dettaglio che cosa è e come si realizza il processo di fitobiodepurazione.

Innanzitutto la fitobiodepurazione è definita come la depurazione naturale delle acque ricche di sostanze organiche, realizzata tramite l'azione di vegetali, in bacini o vasche, che per potersi sviluppare ed accrescersi utilizzano i nutrienti in accesso presenti nelle acque e li assimilano allo scopo.

I vegetali impiegati in un bacino di fitobiodepurazione sono generalmente:

- piante vascolari acquatiche (Macrofite);
- alghe microscopiche unicellulari o filamentose (Microfite); queste, insieme ai batteri, assimilano le sostanze organiche, semplici e complesse, disciolte in acqua.

Il processo si attua in più fasi (Morgana, Corazzi; Lestini, Naviglio, 1997):

- i nutrienti, presenti nell'acqua sotto forma di sali, vengono assimilati dalle piante vascolari acquatiche radicate e flottanti e dalle alghe fitoplanctoniche e bentoniche per la propria crescita;
- le sostanze organiche disciolte nelle acque sono invece utilizzate dai batteri aerobi presenti nel sedimento e nelle radici della Macrofite;
- gli elementi solidi in sospensione nei reflui sono in parte utilizzati dagli organismi zooplanctonici e in parte subiscono il processo di sedimentazione insieme agli organismi morti, con formazione di fanghi sul fondo dei bacini.

Il sistema di trattamento delle acque reflue tramite la fitobiodepurazione, presenta dei vantaggi rispetto a quello tradizionale, quali:

- minori costi;
- bassa richiesta energetica;
- facile manutenzione;
- possibilità di applicazione in piccoli centri, come piccole industrie, campeggi, fattorie, ecc. Gli svantaggi del sistema di fitobiodepurazione sono abbastanza ridotti, in quanto facilmente superabili, ad esempio, uno dei problemi che si presentano riguarda la diminuzione di efficienza del sistema durante il periodo invernale, a causa dell'abbassamento della temperatura, con conseguente diminuzione della produttività vegetale; si ovvierà, se possibile, a questa situazione utilizzando piante adatte a zone temperate che riescano a tollerare le basse temperature invernali.

I fattori che influenzano la depurazione naturale delle acque sono molteplici:

- la fisiologia e l'ecologia delle piante filtro (tasso di crescita, attività fotosintetica, densità, produttività, ecc.);
- le condizioni climatiche della zona;
- la geometria del bacino;
- il tipo di substrato;

- i tempi di residenza delle acque reflue e le caratteristiche fisico-chimiche delle stesse;
- la sedimentazione dei solidi sospesi (Brueske, Barrett, 1994);
- il tipo di flusso (Cronk, Mitsch, 1994);
- la manutenzione degli impianti.

Al variare di questi fattori varia, naturalmente, l'efficienza d'abbattimento dei nutrienti; possiamo in generale ricondurre questi valori alle seguenti percentuali:

- 50% ÷ 75%, per i composti d'azoto;
- 60% ÷ 90% per i composti del fosforo (Gale, 1993; Hey, 1994; Phipps, Crumpton, 1994).

Raccogliendo periodicamente la biomassa vegetale dal bacino di fitobiodepurazione, si ottiene un ulteriore vantaggio, ovvero riciclare queste sostanze per usi diversi:

- la biomassa essiccata e ridotta in farina consente di ottenere un alimento ricco di proteine per il bestiame e per le specie ittiche;
- può essere usata per la produzione di biogas mediante fermentazione anaerobica;
- può essere trasformata in fertilizzanti utili in agricoltura, quando si usano i residui di suddetta fermentazione, a condizione che le acque di scarico siano prive di metalli pesanti (inquinanti).

La scelta delle specie da impiegare per il sistema di fitobiodepurazione si basa sull'individuazione della forma biologica, e di conseguenza sulla determinazione del ciclo biologico della pianta (Morgana, Corazzi, Lestini, Naviglio, 1997); secondo il sistema di classificazione di Raunkiaer, abbiamo:

- *Terofite*: piante annuali che superano la stagione avversa, allo stato di seme;
- *Geofite*: piante perenni con gemme sotterranee, contenute entro organi specializzati, quali bulbi, rizomi o tuberi;
- *Igrofite*: piante perenni con gemme sommerse;
- *Micriptofite*: piante perenni con gemme a livello del suolo;
- *Camefite*: piante perenni alla base legnose, con gemme a meno di 20 ÷ 30 cm di altezza dal suolo; possono essere reptanti, succulente, a cuscinetto, ecc.;
- *Fanerofite*: piante perenni legnose con gemme a più di 3 m d'altezza dal suolo; tipicamente alberi e grossi cespugli.

Bisogna inoltre considerare i seguenti criteri di selezione:

- la resistenza della pianta al tipo di reflujo ed alla sua portata;
- il potenziale fitobiodepurativo della specie;
- il suo tasso di crescita e la sua produttività, per la possibilità di riutilizzo di biomassa vegetale, mediante svariati processi di riciclaggio;
- la disponibilità di superfici sufficientemente ampie da adibire a bacini, per la coltivazione di specie acquatiche galleggianti su vasta scala;
- le condizioni climatiche della zona;
- la resistenza della pianta alle malattie.

A conclusione riportiamo nella **figura 13.2** la relazione tra le piante impiegate per la fitobiodepurazione e un ambiente umido.

13.2.3 Ingegneria Naturalistica ed ecosistemi

La necessità di salvaguardare il patrimonio genetico del pianeta è stata ribadita nella Conferenza di Rio de Janeiro del 1993 le cui direttrici sono state riprese nelle *Linee strategiche per l'attuazione della convenzione della biodiversità* dal Ministero dell'Ambiente nel 1994 che, tra l'altro, si occupano della protezione degli ecosistemi dei corsi d'acqua considerati a forte pressione antropica. Anche il *Piano nazionale delle zone umide* del Ministero dell'Ambiente del 1996 considera la "conservazione e la riqualificazione ambientale delle zone umide degradate attraverso un programma di recupero con interventi di fitodepurazione, rinaturalizzazione delle sponde ed ambienti circostanti, ecc.". Tale attenzione alla riqualificazione dei corsi d'acqua è ribadita anche in numerosi documenti delle Autorità di Bacino interessanti il territorio laziale. Le tecniche di Ingegneria Naturalistica rappresentano lo strumento operativo per il raggiungimento dell'obiettivo di una gestione del territorio a compatibilità ambientale nell'ottica della salvaguardia degli ecosistemi e dell'aumento della biodiversità. Tali tecniche, infatti, risultano in molti casi un'alternativa possibile alle "opere in grigio", che distruggono unità ecosistemiche e ne impediscono qualunque possibile ricostruzione, in quanto creano una barriera impermeabile alla vita e recidono alla radice i legami tra le componenti viventi (piante, animali, suolo) e non viventi (substrato geologico, falda idrica, ecc.) dell'ecosistema stesso. Le opere di Ingegneria Naturalistica negli interventi idraulici consentono, invece, di raggiungere l'obiettivo progettuale, ad esempio di consolidamento delle sponde, con le piante vive in abbinamento a materiali morti quali il legno, la pietra, le reti in acciaio, le biostuoie, ecc., che vengono comunque utilizzati in maniera da mantenere la permeabilità della struttura agli scambi di materia ed ener-

gia tra la sponda ed il corso d'acqua. Ciò consente lo sviluppo di nuove unità ecosistemiche la cui realizzazione rappresenta uno a delle finalità degli interventi di Ingegneria Naturalistica. La realizzazione di una palificata viva spondale o di una copertura diffusa di salici comporta, nel tempo, non solo il consolidamento del piede della sponda o la sua stabilizzazione antierosiva, ma la realizzazione di un cespuglieto igrofilo di salici e di nicchie ecologiche per gli animali terrestri ed acquatici. Si opera quindi per la ricreazione di unità ecosistemiche rare in Italia come quelle igrofile; le principali unità che è possibile favorire con gli interventi di Ingegneria Naturalistica nel Lazio sono:

- le fitocenosi acquatiche delle correnti rapide che si riferiscono all'alleanza *Ranunculion fluitans* e sono caratterizzate dalla presenza di specie del genere *Ranunculus*, sottogenere *Batrachium*;
- le fitocenosi acquatiche delle correnti lente dei corsi d'acqua minori o dei canali d'irrigazione. Nella classe *Potametea pectinati* si raggruppano le comunità vegetali a rizofite (radicate sul fondo) e pleustofite del tipo idrocaridi (che galleggiano liberamente sulla superficie dell'acqua e con foglie galleggianti specializzate).

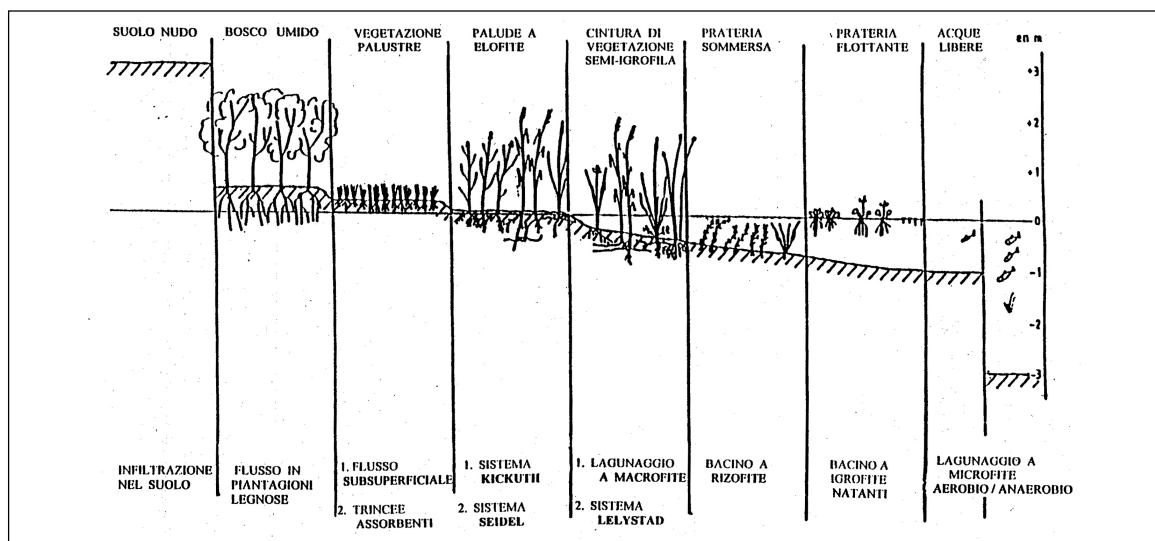
La vegetazione delle acque stagnanti:

- fitocenosi flottanti o affioranti di acque stagnanti o debolmente fluenti ascrivibili all'alleanza *Nymphaeion albae*, caratterizzate dalle "ninfeidi" (con fusti ancorati al fondo e foglie galleggianti);
- vegetazione dell'ambiente palustre caratterizzata da consorzi a *Phragmites australis*, *Typha* sp. pl. e *Schoenoplectus lacustris*, che rientrano nell'alleanza *Phragmition australis*.

Formazioni erbacee umide:

- fitocenosi a grandi carici appartenenti all'alleanza *Magnocaricion* che si sviluppano verso l'entroterra a ridosso delle comunità dell'alleanza *Phragmition*.

Fig. 13.2 - Rapporto tra le piante e l'ambiente umido in un bacino



Fonte: Enea, 1997.

Le associazioni pioniere arbustive ed arboree delle rive soggette a frequenti e prolungate piene (*Salicetalia purpureae*) che si distinguono in:

- arbusteti pionieri su alluvioni grossolane caratterizzati da salici arbustivi (*Salicion eleagni*);
- boscaglie su alluvioni fini caratterizzate da salici (*Salicion albae*).

Le associazioni a pioppi, frassini ed ontani che si insediano su:

- terrazzi fluviali nelle zone meno frequentemente raggiunte dalle piene;
- su suoli alluvionali evoluti;
- su suoli zonali con varianti determinate da processi di gleyficazione (*Populetalia albae*).

Tali unità ecosistemiche lungo i corsi d'acqua, che rappresentano elementi lineari, consento-

no, oltre ad un incremento della biodiversità nelle aree antropizzate quali quelle delle pianure ove le attività umane hanno distrutto le antiche comunità vegetali, anche la possibilità di realizzare dei corridoi ecologici di collegamento dell'ecomosaico territoriale. Una fascia vegetata a lato dei corsi d'acqua permette il contatto per uno scambio biologico alle comunità biotiche di boschi distanti tra loro, dando la possibilità alle popolazioni faunistiche di non subire gli effetti dell'isolamento genetico.

Analogamente, la realizzazione di aree umide di espansione all'interno o al di fuori del corso d'acqua rappresenta degli *stepping stones* (aree naturali minori costituenti punti di appoggio per gli scambi biologici tra gli *habitat* maggiori). Anche interventi di Ingegneria

Tab. 13.2 - Benefici in termini di biodiversità derivanti da una gestione dei corsi d'acqua con l'Ingegneria Naturalistica

Tipo interventi	Azioni	Benefici ecologici in termini di biodiversità e nuove unità ecosistemiche
Modifiche morfologiche in alveo	Demolizione tratti cementificati	Rivitalizzazione alveo con potenzialità per corridoi ecologici ed habitat acquatici e terrestri
	Realizzazione sinuosità con meandri	Habitat per macrobenthos, ittiofauna avifauna e fitocenosi igrofile
	Realizzazione Isole	Stadi vegetazione igrofila e terrestre, avifauna
	Allargamento sezione con realizzazione di golene e tratti a minor battente idrico	Popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione alveo di magra per il deflusso minimo	Ittiofauna e macrobenthos
	Realizzazione sezioni asimmetriche	Stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione aree di espansione	Stadi vegetazione igrofila, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione sponde a varie pendenze	Stadi vegetazione igrofila e terrestre
	Realizzazione sponde ripide	Habitat per avifauna
	Realizzazione di rampe di risalita in pietrame o soglie basse in legname e pietrame	Continuità biologica per ittiofauna
Modifiche morfologiche fuori alveo	Realizzazione aree di espansione o laminazione	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione piccole aree umide	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione di ecosistemi filtro per la fitodepurazione	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
Tecniche antierosive e di consolidamento delle sponde	Impiego di tecniche di ingegneria naturalistica	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi Habitat per avifauna e micromammiferi
Riqualificazione ambiente fluviale fuori alveo	Realizzazione di fasce boscate sul ciglio delle sponde anche con espropri	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi Habitat per avifauna e micromammiferi

Naturalistica con materiali morti, ma con la finalità di favorire gli spostamenti faunistici, quali le rampe di risalita per i pesci o i collegamenti per gli anfibi, vanno nella direzione di mantenere i collegamenti biologici tra gli *habitat*, necessari al completamento del ciclo riproduttivo delle specie animali. Gli interventi di Ingegneria Naturalistica vanno quindi visti nel quadro della rinaturazione dei corsi d'acqua che deve comprendere non solo interventi antierosivi con le specie vegetali vive, ma anche azioni volte al massimo della diversità morfologica nel tracciato o nella sezione dell'alveo, per offrire nicchie specializzate alle comunità ittiche e bentoniche. Nella **tabella 13.2** vengono riportati i benefici in termini di biodiversità derivanti da una gestione dei corsi d'acqua con l'approccio progettuale dell'Ingegneria Naturalistica.

13.2.4 Le problematiche ecologiche per la scelta delle specie

In un intervento di Ingegneria Naturalistica la capacità antierosiva e di consolidamento viene affidata, in ultima analisi, alle piante vive, delle quali è quindi essenziale conoscere la capacità e modalità di colonizzazione degli ambienti degradati. Nel caso della palificata spondale, ad esempio, l'opera ha lo scopo di garantire il consolidamento del piede di una sponda in alternativa ad un muro di sostegno; a causa dei parametri morfologici ed ecologici, in tale situazione, le piante vive non sono in grado, da subito, di garantire tale consolidamento, per cui, unitamente ad esse, vengono utilizzati tronchi in legno chiodati tra loro. Con il tempo il legno si decomporrà e le talee e gli arbusti cresciuti sia nella parte aerea che nell'apparato radicale realizzeranno un cespuglieto con il raggiungimento dell'obiettivo progettuale del consolidamento unitamente alle altre finalità ecologiche e paesaggistiche tipiche della tecnica di Ingegneria Naturalistica.

La scelta delle specie floristiche e delle tipologie vegetazionali:

- risulta quindi essenziale per il successo dell'intervento di Ingegneria Naturalistica;
- Dipende dagli obiettivi progettuali che possono prevedere varie tipologie vegetazionali quali il prato, il cespuglieto, il bosco o ad una loro combinazione;
- richiede un accurato studio ecologico della stazione di intervento.

Tale studio ha il compito di individuare a livello microstazionale (ad esempio, in quella particolare sponda in erosione) i parametri ecologici per la definizione delle specie e delle tipologie vegetazionali di progetto unitamente all'individuazione della serie dinamica evolutiva della vegetazione, con l'obiettivo dell'aumento della biodiversità.

La scelta delle specie va quindi fatta tra quelle:

- coerenti con la flora e la vegetazione autoctona a livello regionale;
- ecologicamente compatibili con i caratteri

microstazionali (microclima, substrato, morfologia, energia idraulica, tempo di sommersione) dell'area d'intervento;

- appartenenti allo stadio dinamico della serie della vegetazione potenziale più evoluto possibile in funzione delle caratteristiche ecologiche della stazione realizzate dell'intervento;
- aventi le necessarie caratteristiche biotecniche.

La conoscenza della serie dinamica della vegetazione costituisce un elemento fondamentale nella scelta delle tipologie progettuali, dal momento che la vegetazione non è un sistema statico, ma un sistema vivente variabile con il tempo; tale evoluzione, osservabile, ad esempio, nella capacità di un bosco di riconquistare un campo abbandonato dalle coltivazioni, procede dalle forme più semplici (erbacee) verso quelle strutturalmente più complesse (legnose); la conoscenza dei contatti seriali e catenali tra le varie tipologie vegetazionali presenti consente l'individuazione dello stadio dinamico di riferimento per il progetto e la previsione della sua evoluzione nel tempo tramite i necessari interventi di manutenzione; infatti, solo molto raramente è possibile prevedere nelle tipologie progettuali la vegetazione più evoluta (il bosco) per le limitazioni delle condizioni ecologiche (suoli primitivi, pendenza eccessiva, aridità, energia idraulica, ecc.) o per vincoli tecnici (distanze di sicurezza, ecc.). I passaggi dinamici, a partire dagli stadi pionieri erbacei fino a quelli arborei, non sempre si verificano nello stesso modo nelle varie situazioni ambientali ed è quindi essenziale per il successo degli interventi di sistemazione delle aree degradate mediterranee, la ricostruzione, con idonee indagini di campagna, delle serie dinamiche reali della vegetazione nelle varie situazioni ecologiche e geomorfologiche dell'area di progetto piuttosto che il riferimento a schemi generali. Le piante (i materiali da costruzione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica) possono essere impiegate in varie forme quali semi, piante radicate, zolle, rizomi o talee, sfruttando, nell'ultimo caso, la capacità di alcune specie, quali, ad esempio, i salici o le tamerici, di conservare entro i tessuti specializzati alcune cellule meristematiche in grado di attivare i processi biologici di ricostruzione dell'intero individuo. Nella scelta delle specie da utilizzare, tra quelle autoctone coerenti con l'ambiente ecologico circostante e appartenenti alla serie della vegetazione potenziale, vanno selezionate quelle con le migliori caratteristiche biotecniche, cioè con un apparato radicale profondo ed esteso e con una crescita rapida nella parte aerea, per garantire nel tempo la protezione ed il consolidamento della sponda. Le specie legnose (le sole idonee per gli interventi di stabilizzazione o consolidamento) più adatte ad operare in stazioni con caratteristiche ecologiche difficili, quali una sponda instabile, su suoli poco evoluti o assenti e, quindi, in genere poco idonee all'impianto degli alberi, che richiedono condizioni più favorevoli, sono arbusti pionieri autoctoni che possiedono apparati

radicali in grado di consolidare, in media, fino ad uno spessore di circa 1,5 m ÷ 2 m di substrato; questo comporta un reale miglioramento dei parametri geotecnici quali l'*angolo di attrito* e la *coesione*; a tale azione puntuale o lineare di consolidamento va unita un'azione di protezione antierosiva areale del pendio ad opera delle specie che agiscono tipicamente nei primi decimetri di suolo. L'effetto combinato del prato e del cespugliamento pioniere, realizzati con le tecniche di Ingegneria Naturalistica, comporta anche il miglioramento del bilancio idrico del suolo, garantendo con interventi semplici, ma estesi a livello territoriale nelle aree instabili e con un'azione soprattutto preventiva, una significativa riduzione percentuale dei fenomeni erosivi e franosi. Le maggiori esperienze di utilizzo delle tecniche di Ingegneria Naturalistica sono state fatte nelle regioni dell'arco alpino caratterizzate da un clima più mesofilo (più fresco, più umido e con estati senza grossi stress idrici) di quello mediterraneo, con situazioni ecologiche più favorevoli all'attecchimento delle piante.

I problemi legati all'utilizzo delle piante vive in ambito mediterraneo sono quindi:

- la presenza di un periodo estivo xerico con *stress* idrico, che determina nelle piante una serie di adattamenti biologici (sclerofillia, tomentosità, spinosità, ecc.);
- la presenza di un periodo di riposo vegetativo più breve di quello delle regioni alpine, con conseguente periodo più breve per l'utilizzo delle specie con capacità di riproduzione vegetativa, quali i salici o le tamerici, il cui utilizzo ottimale è legato a tale periodo;
- la difficile reperibilità delle talee e del materiale vivaistico autoctono, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

Ne deriva la necessità di maggiori accorgimenti, tramite idonee analisi floristiche e vegetazionali, nella scelta delle specie vegetali per gli interventi di Ingegneria Naturalistica in ambito mediterraneo, in quanto le specie autoctone di comune impiego e maggiormente reperibili nei vivai non sempre garantiscono l'attecchimento nelle condizioni ecologiche difficili dell'ambiente mediterraneo. I salici sono molto utilizzati nelle sistemazioni idrauliche ove rappresentano la tipologia vegetazionale finale, ma anche, in genere, in molte sistemazioni terrestri ove si

impiegano come elemento transitorio, verso le tipologie vegetazionali di progetto, in quanto, con idonei interventi di manutenzione, saranno poi favoriti gli arbusti autoctoni originariamente messi a dimora insieme ad essi. L'utilizzo massiccio di salici, specie in genere mesoigrofile, pur compatibile, dal punto di vista ecologico, con le caratteristiche delle stazioni umide mediterranee, quali quelle dei corsi d'acqua o di montagna, va ben valutato nelle altre situazioni ambientali ove spesso non è proponibile per limiti ecologici e climatici, per assenza di coerenza floristico-vegetazionale e per le difficoltà di reperimento. Emerge quindi la esigenza del reperimento di specie xerofile mediterranee erbacee, arbustive ed arboree, che non sempre il mercato vivaistico pubblico o privato è in grado di soddisfare. Tale esigenza vale ancora più per le aree protette ove è garantita la provenienza del materiale vivaistico, per il pericolo dell'inquinamento genetico dovuto a razze, varietà o *cultivar* di altre regioni o addirittura nazioni. Esiste poi un filone di ricerca sull'impiego delle piante radicate mediterranee negli interventi di Ingegneria Naturalistica, basato sull'osservazione del comportamento in natura di alcuni arbusti radicati che reagiscono alla messa a dimora suborizzontale e conseguente interrimento con una radicazione estesa a tutto il fusto, in maniera quindi assimilabile a quella delle talee.

13.2.4.1 Indagini botaniche per la scelta delle specie e delle tipologie vegetazionali di progetto

Nella **tabella 13.3** viene dettagliata la metodologia per l'individuazione ed il reperimento delle specie per l'inerbimento.

- *Analisi floristica*: tale analisi più speditiva di quella fitosociologica, è da impiegarsi nelle situazioni più semplici, ove la limitata estensione dell'intervento, unito all'omogeneità delle caratteristiche ecologiche della stazione possono rendere non necessarie ai fini progettuali le più dettagliate informazioni provenienti da un'analisi di tipo vegetazionale. L'analisi floristica si basa sulla determinazione delle entità floristiche presenti, con il riconoscimento della loro autoecologia (ad esempio, le specie igrofile o xeriche) unitamente alle forme biologiche ed ai tipi corologici. Dalla lista del-

Tab. 13.3 - Metodologia per l'individuazione ed il reperimento delle specie per l'inerbimento

1	Analisi floristica e vegetazionale con ricostruzione della serie dinamica della vegetazione.
2	Individuazione dello stadio di progetto compatibile con le caratteristiche ecologiche della stazione.
3	Selezione delle specie in base a: <ul style="list-style-type: none"> • forme biologiche; • tipi corologici; • caratteristiche biotecniche.
4	Confronto con le specie disponibili sul mercato.
5	Reperimento delle specie nuove mediante: <ul style="list-style-type: none"> • prelievo del selvatico (talee, cespi, rizomi, semi, fiorume); • produzione vivaistica ex novo.

le specie autoctone riscontrate, strutturata secondo le forme biologiche, vanno selezionate le specie di progetto.

- **Le forme biologiche:** le forme biologiche o di crescita delle piante rappresentano la possibilità di descrivere la struttura della vegetazione tramite i differenti adattamenti all'ambiente esterno (esempi intuitivi di forme biologiche sono l'albero, l'arbusto o la specie erbacea). Il sistema utilizzato per classificare le forme biologiche è quello del botanico danese Raunkiaer (1902), che si basa sulla strategia assunta dalle piante per proteggere le gemme durante la stagione avversa (il freddo invernale o l'aridità estiva, a seconda del clima). Le piante vascolari sono suddivise in sei classi principali:
 - **terofite (T):** piante annuali che superano la stagione avversa sotto forma di semi (ad esempio, il papavero);
 - **idrofite (I):** piante perenni acquatiche con gemme sommerse durante la stagione sfavorevole (ad esempio i patamogeni);
 - **geofite (G):** piante perenni con organi ipogei (bulbi o rizomi) sui quali si trovano le gemme (ad esempio, la cannuccia di palude);
 - **emicriptofite (H):** piante perenni con le gemme a livello del suolo (ad esempio, la margherita);
 - **camefite (CH):** piante perenni, alla base legnose, con le gemme a livello fino a 30 cm da terra (ad esempio, l'elicriso);
 - **fanerofite (P):** piante perenni legnose con le gemme a più di 30 cm dal suolo (alberi ed arbusti).

Lo spettro biologico rappresenta la ripartizione percentuale delle varie forme biologiche della flora di un territorio ed evidenzia le relazioni tra clima e flora. La conoscenza delle forme biologiche è di grande interesse applicativo nella progettazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica, in particolare nella scelta delle sementi per gli inerbimenti.

- **Tipi corologici:** le specie floristiche non si distribuiscono nel territorio in modo uniforme; alcune occupano un'area molto ristretta, altre regioni estese, fino a quasi tutta la superficie terrestre.

I tipi corologici della flora italiana, cioè i gruppi che rappresentano la distribuzione geografica delle specie, sono essenzialmente (Pignatti, 1982):

- **endemiche:** specie ad areale ristretto, sono l'elemento più caratteristico di una flora;
- **mediterranee:** si dividono in *stenomediterranee*, con areale lungo le coste del bacino mediterraneo come *Arbutus unedo* (corbezzolo) ed *eurimediterranee*, che si estendono fino all'Europa come *Fraxinus ornus* (orniello);
- **orofite sudeuropee:** specie differenziate sulle montagne dell'Europa meridionale dopo l'orogenesi terziaria come *Abies alba* (abete bianco);
- **euroasiatiche:** diffuse nelle zone temperate dell'Europa e dell'Asia, in Italia predo-

minano nella pianura Padana e nella fascia di bassa montagna (*Corylus avellana*, nocciolo);

- **atlantiche:** specie con areale che gravita sulle coste atlantiche dell'Europa, legate ad un clima oceanico, con precipitazioni distribuite durante l'anno e inverni non troppo freddi, ad esempio *Helleborus foetidus* (elleboro puzzolente);
 - **settentrionali:** distribuite nelle zone più fredde del globo, in Italia si rinvengono soprattutto nelle zone montane come, ad esempio, *Vaccinium myrtillus* (mirtillo);
 - **cosmopolite:** specie ad ampia distribuzione diffuse in tutti i continenti, si ritrovano soprattutto negli ambienti antropizzati, come *Amaranthus retroflexus* (amaranto comune).
- L'analisi dei tipi corologici consente di individuare le specie autoctone per gli interventi progettuali.
- **Analisi fitosociologica:** tale analisi, da impiegarsi unitamente a quella floristica nelle situazioni più estese ed articolate dal punto di vista ecologico, è quella che fornisce le informazioni più complete nella decodifica del messaggio che la copertura vegetale fornisce al progettista.

La fitosociologia è la branca della botanica che studia le comunità vegetali. La sua caratteristica consiste nell'uscire da un ambito qualitativo per approdare ad un'analisi quali-quantitativa che consente un confronto oggettivo tra situazioni fisionomicamente simili o diverse. L'elemento operativo fondamentale nell'indagine fitosociologica è il rilievo, consistente nel censimento delle specie vegetali di una stazione opportunamente scelta all'interno di una zona fisionomicamente omogenea, accompagnato da una valutazione quantitativa sull'abbondanza di ogni specie, nonché delle principali caratteristiche ecologiche e strutturali della stazione stessa (altitudine, inclinazione, esposizione, stratificazione). I rilievi possono poi essere elaborati con metodi statistici di analisi multivariata (classificazione e ordinamento) allo scopo di ottenere una tabella strutturata. Tramite l'analisi fitosociologica viene individuato lo stadio dinamico evolutivo o degenerativo di una comunità vegetale, ottenendo elementi di previsione del suo sviluppo nel tempo.

13.3 Coperture verdi

Negli ultimi anni si è sentita sempre più l'esigenza di mitigare gli impatti ambientali derivanti dall'edificazione di opere, quali grandi manufatti, parcheggi, pavimentazioni per aree di sosta, rivestimenti in genere. In particolare, possiamo individuare i seguenti campi d'applicazione:

- coperture verdi orizzontali ed inclinate;
- coperture di *garage* interrati;
- manufatti industriali;
- capannoni;

- ospedali;
- terrazze;
- opere di protezione (portali di galleria, scatolatori, gallerie artificiali, ecc.).

Nasce così un nuovo strumento per ridurre l'impatto ambientale e per il ripristino del verde, prescritto particolarmente per zone industriali e suburbane: il "verde pensile" (o "copertura a verde") quella disciplina tecnica che applica materiali e tecnologie atte a portare e mantenere stabilmente del verde su superfici, sia orizzontali che verticali, sia in interno che in esterno, prive di contatto con il terreno, dato che normalmente si interviene su superfici realizzate con materiale inerte, spesso impermeabilizzate (P. Abram).

Gli interventi di inverdimento pensile hanno le seguenti finalità:

- **ecologiche:**
 - miglioramento del microclima esterno ed influenza positiva sul clima degli ambienti interni grazie all'effetto di evapotraspirazione delle piante, che permettono di contenere l'aumento delle temperature estive;
 - creazione di nuovi ambienti di vita per gli esseri viventi contribuendo alla necessaria diversità ecologica negli ambienti urbani;
- **tecniche:**
 - trattenimento delle acque meteoriche con conseguente alleggerimento sulla rete di canalizzazione delle acque bianche; questo comporta parallelamente anche un vantaggio economico per il contenimento dei costi per i sistemi di smaltimento;
 - riduzione della diffusione sonora all'interno degli edifici e della riflessione all'esterno

no soprattutto in quei luoghi che ospitano attività rumorose (officine, discoteche, industrie, ecc.);

- Filtraggio delle polveri e fissaggio delle sostanze nutritive dall'aria e dalle piogge. È stato studiato che il verde pensile trattiene le polveri e le sostanze nocive fino al 10% ÷ 20% (Zanarotti, 2001);
- **estetico-paesaggistiche:**
 - miglioramento della percezione visiva, inserimento e compensazione con l'ambiente naturale circostante;
- **economiche:**
 - durata maggiore dell'impermeabilizzazione tramite la protezione meccanica e il contenimento degli sbalzi termici, con ammortizzazione dei costi nel tempo;
 - maggiore isolamento termico con conseguente risparmio energetico nella climatizzazione e riscaldamento degli edifici;
 - aumento di valore degli immobili con il recupero di situazioni degradate e miglioramento radicale dell'immobile e del contesto in cui è inserito.

Come accennato precedentemente, il verde pensile può essere utilizzato per diversi tipi di coperture delle quali si potrà esaminare qualche esempio nei paragrafi seguenti.

13.3.1 Coperture per parcheggi e magazzini

È necessario impermeabilizzare la zona interessata da copertura con elementi idonei, quali (dal basso verso l'alto):

- soletta in c.a. con eventuali pendenze;
- strato di regolazione in geotessile di feltro non tessuto da 500 gr;

Fig. 13.3 - Inverdimento pensile a più strati

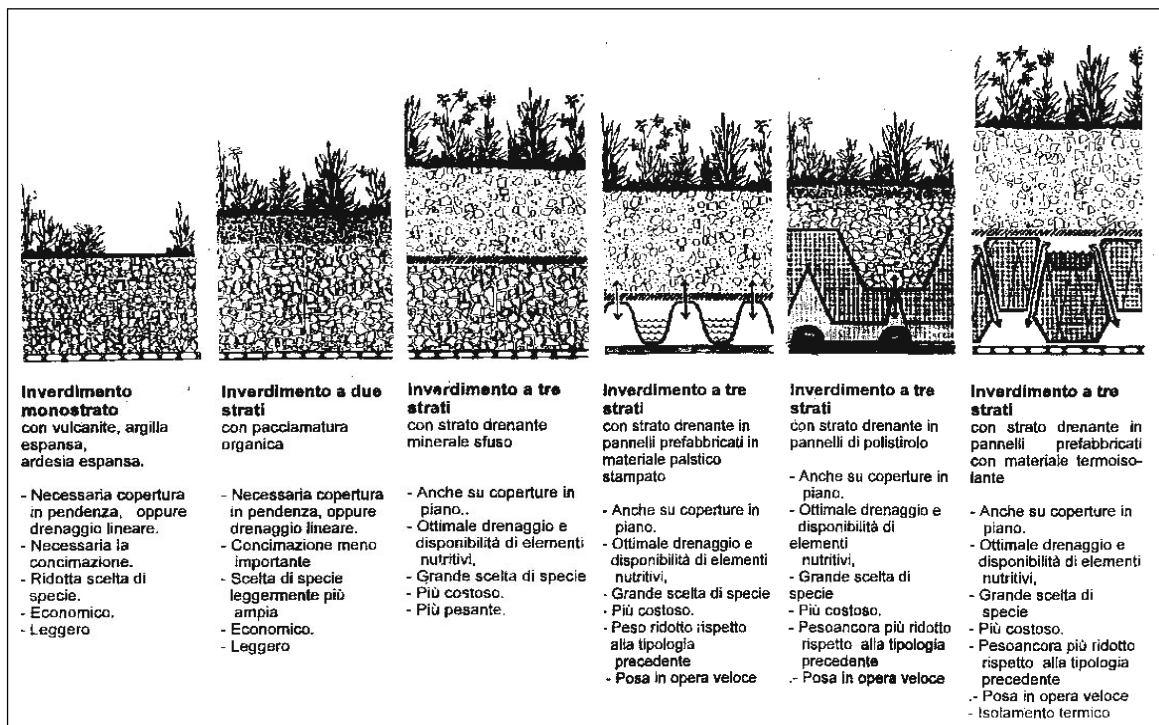
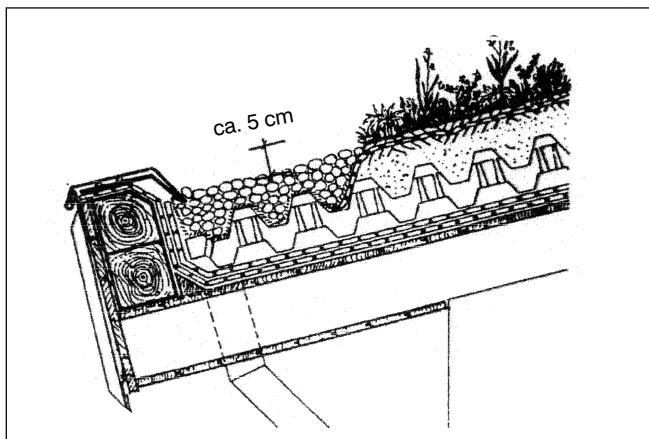


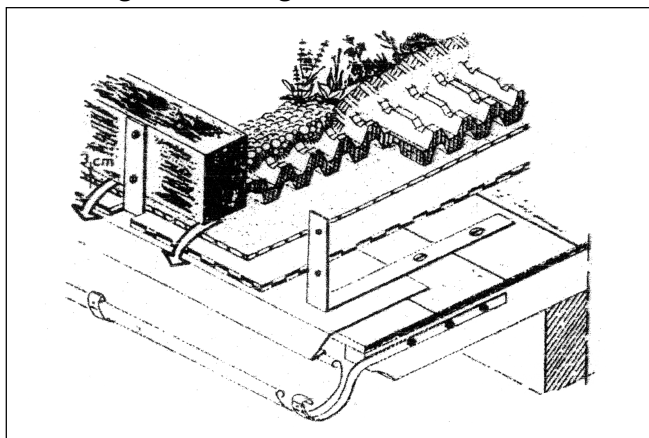
Fig. 13.4 - Tetto inclinato rinverdito - conformazione della gronda

Conformazione della gronda con scarico delle acque interno



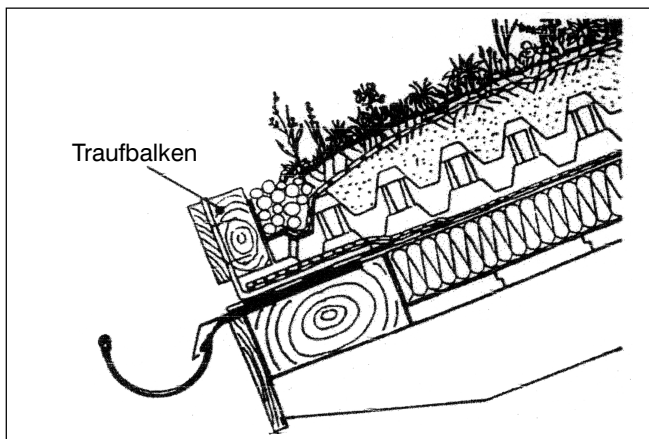
Un tetto in pendenza, di principio, viene inverdito come un tetto piano che venga poi "inclinato". I contenimenti nella zona della gronda devono essere realizzati sufficientemente alti e stabili affinché le forze di spinta generate dall'inverdimento vengano sopportate. La canalizzazione inferiore dell'elemento FLORATEC garantisce il deflusso trasversale dell'acqua nella zona della gronda rendendo possibile lo smaltimento in scarichi o doccioni.

Trave di gronda con grondaia esterna



Spesso negli inverdimenti di un tetto inclinato si preferisce realizzare lo sgrondo delle acque di una grondaia esterna. In questo caso la spinta generata dall'inverdimento deve essere indirizzata verso la struttura del tetto attraverso travi di gronda fissate con elementi angolari metallici. La trave di gronda viene montata a ca. 3 cm di distanza dall'impermeabilizzazione per cui l'acqua piovana in eccesso può liberamente defluire. In caso di terreni particolarmente drenanti si può eventualmente anche evitare l'installazione della grondaia.

Gli angolari metallici vanno avvitati sotto all'impermeabilizzazione oppure vanno accuratamente isolati.

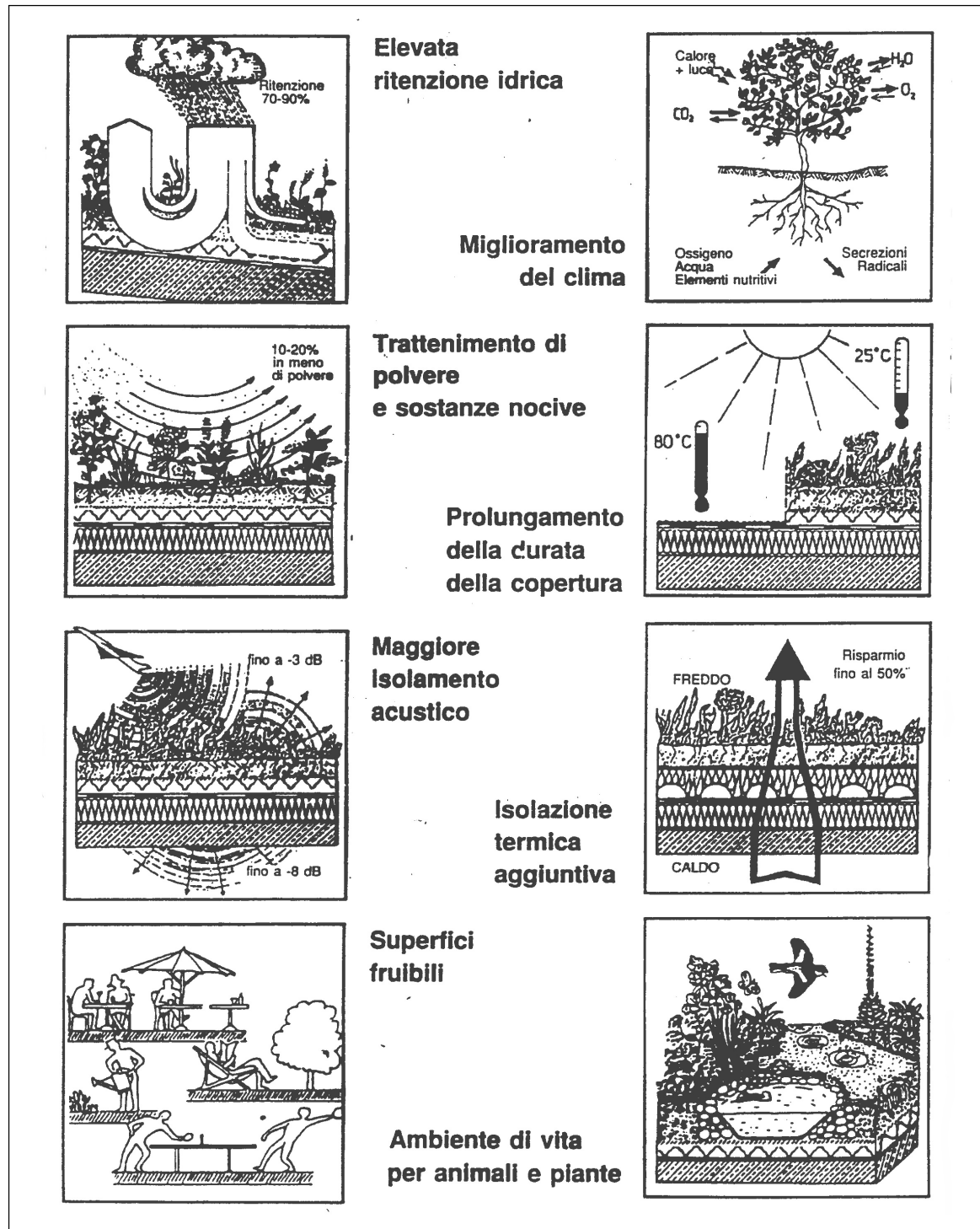


È importante che sui tetti inclinati da inverdire vengano poste in opera guaine impermeabili antiradice in quanto la posa libera di fogli antiradice su tetti in pendenza non è praticabile. Si raccomanda la copertura dell'impermeabilizzazione con un feltro protettivo isolante resistente alla trazione che serve anche per accumulo idrico e di elementi nutritivi.

- manto impermeabile sintetico da 2 mm resistente all'attacco di microrganismi, alle sollecitazioni meccaniche, al punzonamento e alle correnti parassite;
- strato di separazione in geotessile da 500 gr. Si sceglierà, poi una protezione antiradice (per impedire alle radici di penetrare attraverso l'isolazione del tetto) degli strati impermeabili di cui sopra, applicando un manto impermeabile

munito di apposita certificazione secondo il sistema FLL. Oltre alla protezione dagli attacchi dei parassiti, si dovrà provvedere ad una difesa meccanica degli strati impermeabili, con l'utilizzo di uno speciale feltro protettivo in tessuto immarcescibile. Uno strato drenante sarà il nucleo del sistema in quanto dovrà garantire il deflusso delle acque provenienti dalla sovrastante stratificazione a verde e contempo-

Fig.13.5 - I vantaggi di un tetto verde



ranamente provvedere alla protezione meccanica degli strati di impermeabilizzazione e all'aerazione degli apparati radicali della vegetazione. Lo strato drenante può essere costituito in pannelli di caucciù stampati a pressione dello spessore di 2,5 cm con capacità drenante a normativa DIN 4095 e protezione a normativa DIN 18195. Lo strato filtrante provvederà ad evitare lo scivolamento delle particelle fini di substrato nello strato drenante, garan-

tendo un idoneo movimento verticale dell'acqua di drenaggio ed una sufficiente resistenza meccanica. Lo strato filtrante sarà costituito da un telo in polipropilene/polietilene da 190 gr/m².

Si riportano nelle figure 13.3-13.4 esempi di stratificazioni per coperture verdi. I vantaggi che si ottengono utilizzando una copertura a verde su una struttura possono essere rappresentati nella figura 13.5.

Bibliografia

AA.VV., 1997

Rassegna di tecniche relative alla depurazione naturale delle acque. Utilizzo di macrofite e microfite nei sistemi di depurazione, ENEA - Dipartimento Ambiente Centro Ricerche Casaccia, Roma.

AA.VV., 2001

Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio, a cura di Regione Lazio - Dipartimento Opere Pubbliche e Servizi per il Territorio, dicembre (inedito).

Abram P., s.d.

Il Verde pensile, a cura di Associazione Italiana per il Verde Pensile - AIVEP.

Blana H., 1980

Rasterkartierung und Bestandsdichteerfassung von Brutvögel als Grundlage für die Landschaftsplanung. Ein Vergleich beider Methoden im Selben Untersuchungsgebiet.

Box J.D., J.E. Forbes, 1992.

Ecological considerations in the environmental assessment of road proposals, in "Highways and Transportation".

Bruske C., Barrett G., 1994

Effect of vegetation and hydrological load on sedimentation patterns in experimental wetland ecosystems.

Cronk J. K., Mitsch W., 1994

Acquatic metabolism in four newly constructed freshwater wetlands with different hydrologic inputs.

Dinetti M., 2000

Infrastrutture ecologiche. Manuale pratico per progettare e costruire le opere urbane ed extraurbane nel rispetto della conservazione della biodiversità, Il Verde Editoriale.

Fennesey M.S., Brueske C. C., Barrett G., 1994

Sediment deposition patterns in restored freshwater wetland using sediment traps.

Fuller J.R., Langslow D.R., 1986

Ornithological evaluation for wildlife conservation, in "USHER M.B."

Gale P.M., 1993

Nitrogen removal from reclaimed water applied to constructed and natural wetland microcosm.

Ghetti P.F., 1995

Manuale di applicazione: Indice biotico esteso. macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti, Provincia Autonoma di Trento - Servizio Protezione Ambiente.

Greco S., Petriccione B., 1991

Environmental quality evaluation in a disturbed ecosystem, on the basis of floristic and vegetational data, in *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery*, a cura di Ravera o, Ellis Horwood series in environmental management, science and technology.

Ingegnoli V., 1990

Criteri di recupero ambientale: rapporti tra bioingegneria naturalistica ed ecologia del paesaggio, in "Acer", 6, atti del Convegno di Ingegneria Naturalistica.

Malcevski S., Ceppi S., 1999

Al via la deframmentazione, in "Acer".

Neugebauer N., Scozzafava T., 1992

Relazioni tra fauna ed Ingegneria Naturalistica, in *Tecniche di rinaturazione e di Ingegneria Naturalistica. Esperienze europee*, atti del Congresso Internazionale AIPIN, a cura di G. Sauli e S. Simonetta, Udine, maggio.

Schiechl H.M., 1991

Bioingegneria forestale. Biotecnica naturalistica, Ed. Castaldi, Feltre.

Siligardi M., Maiolini B., 1993

L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini: guida all'uso della scheda RCE-2, in "Biologia Ambientale".

Wood J.R., 1990

Landscape ecology and bio-engineering, V Annual Landscape Ecology Symposium, Oxford, Ohio.

Zanarotti C., 2001

Il verde sui tetti per salvare la città, in "Coltura del Verde. Notiziario della scuola agraria del Parco di Monza", n. 20, giugno-agosto.