IMPATTO AMBIENTALE

RETI ECOLOGICHE E MITIGAZIONE DELL'IMPATTO PAESAGGISTICO DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE
Un caso studio recente

*Daniel Franco**

Introduzione

La realizzazione di assi viari a elevata intensità veicolare, come le superstrade o le autostrade, è uno dei motivi di maggiore impatto a scala di paesaggio relativamente ai processi di dissezione e conseguentemente frammentazione del paesaggio.

Tanto più un paesaggio risulta frammentato, tanto più diminuisce la connettività rispetto a vari processi paesaggistici. Per vero un'alta connettività per un determinato processo può avere tanto effetti positivi che negativi nella gestione di un paesaggio: ad esempio sia una elevata che una bassa connettività rispetto alla capacità di dispersione di una determinata popolazione possono stimolarne la persistenza, o una scarsa connettività può inibire la propagazione di fuoco, malattie, specie esotiche. Pertanto la gestione di questo parametro, strettamente processo-dipendente, può essere uno strumento utile nel governo di un paesaggio.

In paesaggi culturali di antica o antichissima antropizzazione, come quello del Nord Italia, la presenza di corridoi arboreo-arbustivi influenza da tempi remoti le dinamiche di popolazioni animali e vegetali e/o i flussi biotici, nonché i processi idrologici. La funzione di habitat dei corridoi vegetati è stata ben studiata per alcuni *taxa*, ed in generale si può affermare che questi ecotopi sono dominati da specie generaliste e di margine. Inoltre molte specie animali e vegetali sono limitate, nei paesaggi attuali, ai sistemi forestali, beneficiando dell'effetto margine e della presenza di acqua spesso associata a questi impianti, che dunque contribuiscono in maniera effettiva alla biodiversità. Una lunga serie di lavori sperimentali indica infine la capacità dei sistemi agroforestali di favorire il *movimento* faunistico di svariati *taxa*. Le evidenze sulla capacità da parte dei corridoi arboreo arbustivi di promuovere il movimento delle piante sono più rarefatte, ma presenti.

Pertanto in un paesaggio come quello considerato la connettività dei sistemi arboreo arbustivi presenti è un buon indicatore, validato sperimentalmente, della possibilità di sopravvivenza di una serie di popolazioni animali e vegetali e dunque della bio-diversità (sebbene la risposta delle singole popolazioni a questo parametro sia strettamente specifica) e della efficienza di altri flussi paesaggistici dome quelli idrologici, e, *last but not least*, di quelli percettivo-culturali.

Il presente lavoro deriva da uno studio-progetto sviluppato all'interno del complesso di attività per uno studio di impatto ambientale di un'opera viaria del Nord Italia.

L'opera ha avuto ed ha tuttora un iter tormentato, e non sarebbe pertanto opportuno esporre dei risultati su una procedura di valutazione *in itinere*. Pertanto lo scopo dell'articolo è quello di un approfondimento scientifico-metodologico sui criteri e sulle procedure adottate nella mitigazione degli impatti di un opera viaria mediante la realizzazione di corridoi arboreo-arbustivi non necessariamente relativi alla specifica opera.

In questo articolo non si sono considerate le opere di mitigazione realizzate mediante sovra/sotto passi faunistici di varia natura, strumento importante per la riduzione degli impatti di queste opere rispetto ai flussi biotici nel paesaggio, e della stima quali-quantitativa degli abbattimenti inquinanti attraverso opportune modellazioni; infine non si sono riportate le previsioni di mitigazione in alveo previste in fase di cantiere e di esercizio per i corsi d'acqua.

ANALISI DELLA RELAZIONE TRA ASSI VIARI E CORRIDOI VEGETATI ASSOCIATI

Le ripercussioni dirette per l'uomo

La realizzazione di bande arborate lungo gli assi stradali può assolvere ad una serie di funzioni di diretto interesse umano. Oltre a determinare una riqualificazione estetica dell'intervento infrastrutturale può ridurre la pericolosità dello spostamento, sia a proteggendo gli utenti che gli abitanti delle zone attraversate. Se gli elementi vegetali sono inseriti correttamente:

* forniscono un'efficace contromisura alla stanchezza del guidatore aumentando l'attenzione del guidatore rispetto alle cambiamenti di direzione o di pendenza;
* forniscono informazioni sulla velocità di guida e generano ombra nei periodi estivi;
* svolgono un'utile funzione di difesa dalle raffiche di vento se strutturati a frangivento.

La presenza di una strada ed il traffico associato producono inevitabilmente un disturbo nel paesaggio attraversato, sotto l'aspetto visuale e ed inquinante.

* *Dottore forestale, libero professionista*

L'inserimento di sistemi vegetali associali alla infrastruttura può esercitare una serie di misure protettive.

Inserimento estetico-percettivo dell'opera: il manufatto può essere schermato con fasce boscate che possono e devono essere anche utilizzate per migliorare l'inserimento nel paesaggio della striscia di asfalto; inoltre una serie di studi ha dimostrato come i paesaggi antropici dotati di reti ecologiche forestate siano sempre preferiti a quelli che ne sono privi.

Inquinamento acustico: la funzione di protezione può essere affidata almeno parzialmente a fasce boscate, in combinazioni di terrapieni vegetati o barriere antirumore vegetate.

Inquinamento da sostanze chimiche: le fasce vegetate hanno capacità variabili di funzionare da filtro per queste sostanze.

Fuoriuscita dei veicoli: la difesa dei non utenti aumenta con l'aumentare della protezione ai lati della strada.

Le funzioni eco-paesaggistiche dei corridoi autostradali

Ampliando la prospettiva e utilizzando la terminologia propria dell'ecologia del paesaggio, le strade e le autostrade possono essere definite corridoi: i corridoi sono ecotopi di forma lineare con caratteri propri che differiscono dalle condizioni circostanti.

Posto che le autostrade non esplicano sostanziali funzioni di *trasmissione* per le specie diverse dall'uomo, se non per la dispersione di propaguli e semi favorita dal flusso veicolare, le funzioni paesaggistiche più caratteristiche sono concentrate sull'assorbimento e sull'origine di flussi paesaggistici, ed in alcuni casi di habitat.

Habitat

Le funzioni di habitat non sono ovviamente esplicate dal nastro d'asfalto in se, ma dai margini vegetati più o meno estesi e strutturalmente complessi che possono essere associati agli assi viari. Le caratteristiche e le potenzialità di questa funzione, specie-specifica, dipendono dalle dimensioni e dalla struttura dei corridoi ecologici associati

Origine

Le autostrade generano flussi di inquinanti, dispersi sia dall'aria che dall'acqua, che vanno ad interessare regioni tanto più ampie quanto minori sono le misure per una loro intercettazione e trasformazione. Questi, in particolare i cloruri, vanno ad interagire con la vegetazione quando inserita lungo i bordi stradali. Infine i margini delle autostrade possono generare, se non opportunamente gestiti, flussi di specie rustiche e aggressive (che resistono nelle condizioni ricordate), spesso esotiche, verso la matrice del paesaggio.

Assorbimento: aspetti floro-faunistici

La principale componente di questa funzione risiede della elevata mortalità della fauna in attraversamento il nastro d'asfalto, che non risulta generalmente significativa, con tutte le eccezioni del caso, per i micro e meso mammiferi ed uccelli, ma può essere grave per i macromammiferi e per alcune specie rare.

Se i corridoi boscati associati agli assi viari funzionano da attrattori per molte specie (per il nutrimento, la protezione, la riproduzione), la elevata densità di potenziali prede attrae i predatori; però dalle conoscenze ad oggi acquisite questo effetto non risulta tale da generare rischi di estinzione nei predati, se non in casi particolari e non generalizzabili.

Il problema non è tanto legato, quindi, alla sottrazione di habitat, ma all'aumento della probabilità di estinzione delle subpopolazioni separate da questo tipo di barriera. La soluzione per una riduzione di questa fonte di mortalità risiede nella realizzazione di sotto e sovrapassi faunistici (dei quali non ci occuperemo in questo lavoro) strategicamente associate alla realizzazione di barriere (reti, staccionate).

Assorbimento: controllo dei flussi inquinanti originati dall'infrastruttura

Se il corridoio autostrada origina flussi di inquinanti, gli ecosistemi arboreo arbustivi associabili possono avere un impatto diretto sull'abbattimento degli stessi. In questo caso le piante possono essere usate da sole, in combinazione con elementi artificiali, o integralmente sostituite da queste.

Inquinamento atmosferico e sali

Gli inquinanti prodotti dal flusso veicolare possono essere gassosi (ossidi di carbonio, zolfo e azoto), non gassosi (metalli pesanti e sali), e particellari (carbonio, benzeni, gomme, micropolveri). La variazione delle concentrazioni di metalli pesanti (piombo, cadmio, zinco, ecc.) non sembra influenzata in maniera decisa dalla presenza di formazioni a filari; infatti la maggior concentrazione al suolo di questi inquinanti scema nei primi 20 m dal margine a valori di fondo per aree mediamente antropizzate anche in assenza di queste barriere. Questa influenza aumenta invece nel caso di fasce boscate pluristratificate. Riferendosi a dati autostradali nazionali i valori di concentrazione di piombo nel suolo non sono differenti a fra stazioni munite o prive di barriera vegetale a distanze superiori a 8-10 metri (vedi bibliografia di riferimento).

I sali comportano in concentrazioni elevate delle modificazioni strutturali del terreno e risultano fitotossici per molte specie vegetali, che devono essere adatte a queste condizioni edafiche in particolare nei primi metri di impianto.

Nel caso degli inquinanti particellari l'efficacia d'abbattimento da parte barriere vegetali deriva dalla capacità dei vari organi di fungere da superficie di trattenuta mentre per gli inquinanti gassosi si possono verificare assorbimenti diretti dei tessuti stomatici. Questi meccanismi portano all sequestro di sostanze inquinanti che vengono restituite al suolo in maniera dilazionata per l'abscissione degli organi accumulatori. Il tasso di accumulo di sostanze inquinanti nei vari comparti dell'ecosistema arboreo arbustivo risulta solo parzialmente efficace, mentre è il suolo che mostra le maggiori attitudini a complessare e/o trasformare le sostanze inquinanti presenti. I fattori che influenzano la capacità di trattenuta degli inquinanti atmosferici dei sistemi vegetati possono essere inquadrati come da letteratura.

- **Tipo di superfici.** L'efficacia delle superfici aeree (cortecce, foglie, ecc.) nel trattenere le sostanze inquinanti è determinata dalla durata del contatto e dalla loro maggiore o minore scabrezza. La capacità di trattenuta da parte delle foglie non è solo di ordine fisico (rugosità e/o pubescenza), ma chimico (presenza di cere in grado di legarsi alle sostanze inquinanti).
- **Fenologia.** La capacità di mantenere il fogliame durante tutto l'anno influenza la capacità di mantenere una superficie di trattenuta costante, anche se con picchi di inefficienza nei periodi di riposo. Inoltre le foglie semipersistenti (*Quercus pubescens*, *Carpinus betulus*) hanno una elevata capacità di assorbire inquinanti.
- **Effetto riparo.** L'effetto è determinato dalla presenza di microambienti aerei (tra foglie e rametti) favorevoli all'accumulo di inquinanti secchi. Questo è dovuto sia a motivi meccanici che alla creazione di un microclima favore-

vole rispetto all'umidità. L'effetto è funzionale alla densità della chioma

- Potenzialità stomatica. Gli inquinanti gassosi o molecolari possono venire assorbiti dagli stomi in relazione all'intensità degli scambi gassosi fra pianta ed atmosfera, regolata dall'evapotraspirazione e quindi dalla disponibilità idrica.

Inquinamento acustico

L'effetto delle formazioni vegetali nel controllo del rumore è stato studiato per valutarne l'efficacia ed ottimizzarne le prestazioni. L'onda sonora è costituita dal movimento vibratorio dell'aria, e disperde la sua energia quando incontra degli ostacoli degradandosi, per attrito, in calore. Aumentando il numero e la complessità spaziale degli ostacoli, aumenta l'efficacia di abbattimento dell'energia sonora. Questa complessità è fornita, come nel caso della porosità delle barriere fonoassorbenti artificiali, dalla struttura alveolare e porosa del suolo corrispondente alla rizosfera, e delle strutture aeree della vegetazione. Nel caso delle barriere vegetali l'attenuazione è legata a vari fattori quali composizione specifica, struttura, disposizione, fenologia, ed eventuali problemi fitosanitari, che determinano la forma, dimensione e distribuzione degli ostacoli all'onda sonora.

Senza barriere fonoassorbenti, oltre i 150-200 metri l'effetto del rumore si riduce drasticamente per l'uomo (in funzione del traffico veicolare), ma non così per altre specie animali, influenzate a distanze anche superiori al chilometro. La protezione dal rumore pertanto ha senso, *per l'uomo*, in territori con una urbanizzazione diffusa e ravvicinata alla struttura viaria e generale per le specie animali più sensibili.

Sulla base degli studi compiuti (vedi bibliografia) l'attenuazione del rumore può arrivare fino a 10-12 dB a seconda delle specie usate, delle caratteristiche strutturali della barriera e della distanza del rilevamento. Il comportamento della barriera varia quindi in funzione della frequenza del rumore emesso: le strutture vegetali mostrano un campo di efficacia compreso tra 200 Hz e 2 kHz e tra 5 kHz e 8 kHz; il picco di sensibilità dell'orecchio umano è compreso tra i 2 e i 5 kHz. Ma i rumori da traffico veicolare hanno frequenze che vanno da circa 100 Hz a 10 kHz; coperto dall'azione della vegetazione anche se con diversa efficacia a seconda della frequenza in cui è emesso il rumore.

Ottimizzazione degli interventi a scala di paesaggio

Per i motivi sopra ricordati si può considerare opportuno utilizzare i corridoi boscati come strutture di accompagnamento e mitigazione delle infrastrutture autostradali. In particolare nei paesaggi densamente antropizzati la realizzazione di tali corridoi può avere un importante ruolo ecopaesistico positivo non solo per la riduzione dell'impatto provocato dalla realizzazione dell'opera specifica, ma per la riqualificazione ecologica del paesaggio in senso più vasto.

I vantaggi che derivano da questi impianti sono non solo quelle associate alla fruizione diretta ed indiretta dell'uomo, e dalla funzione tampone rispetto agli inquinanti di varia natura, ma dalla creazione di nuovi habitat per le specie residenti e di flussi genici per le specie che si muovono entro o lungo questi sistemi.

In questo caso la loro realizzazione deve inoltre limitare l'accesso delle specie di maggiori dimensioni alla sede autostradale, deve essere accoppiata alla realizzazione di passaggi strategici per la fauna non volante e deve limitare il più possibile il diffondersi di specie esotiche.

I corridoi arborei arbustivi esplicano nel paesaggio una serie di funzioni che sono state inquadrate in cinque categorie dominanti che possono risultare particolarmente evidenti se tradotte in termini di beneficio in qualche modo valutabile dall'uomo, ad esempio beneficio sociale, beneficio estetico (miglioramento della qualità percettiva di un paesaggio), controllo dell'inquinamento diffuso, miglioramento della quantità e qualità della fauna (anche venatoria), biodiversità.

Le conoscenze attuali e quanto sopra ricordato permettono di dimostrare:

* che le reti ecologiche di sistemi arboreo arbustivi, che in un paesaggio rurale diffuso in buona parte d'Italia corrispondono in buona misura a sistemi agroforestali, possiedono caratteristiche peculiari che non corrispondono alla somma degli effetti dei singoli ecosistemi;
* che un'ottimizzazione delle caratteristiche specifiche ed intrinseche delle reti agroforestali è accompagnata dal miglioramento delle prestazioni di questi sistemi riguardo ai processi paesaggistici, che portano ad una riqualificazione complessiva del paesaggio e ad uno sviluppo di modelli sostenibili per il mantenimento dello stesso, in particolare migliorano la qualità delle acque e la conservazione naturale;
* che i corridoi arboreo arbustivi di mitigazione alla realizzazione di assi autostradali contribuiscono alla riqualificazione delle caratteristiche ecologiche del paesaggio non solo in base all'interferenza positiva con i flussi di inquinanti di varia natura, ma anche con quella con i flussi biotici naturali e con i flussi culturali (gradimento percettivo).

Inoltre un'ottimizzazione delle caratteristiche specifiche ed intrinseche delle reti ecologiche è accompagnata dal miglioramento delle prestazioni di queste macrostrutture riguardo alla generalità dei processi paesaggistici, che portano ad una riqualificazione complessiva del paesaggio e ad uno sviluppo di modelli sostenibili per il mantenimento dello stesso. la qualità delle acque, la conservazione naturale e la percezione del paesaggio.

Pertanto l'inserimento e la calibrazione dei sistemi arboreo arbustivi di mitigazione autostradale con i sistemi presenti nel territorio è un'operazione necessaria per ottenere un effetto complessivo di riqualificazione a scala di paesaggio e non solo locale.

CRITERI / OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE

Scelta delle specie

La selezione e la scelta delle specie nella costruzione di impianti di mitigazione autostradale è essenziale perché dal punto di vista funzionale non esiste una specie che ottimizzi singolarmente le funzioni richieste (abbattimento rumore, protezione fauna, resistenza all'inquinamento, abbattimento inquinanti, ecc.), e dal punto di vista ecologico una struttura complessa risulta necessaria per le funzioni di habitat e corridoio richieste.

Quindi le scelte specifiche derivano da una serie di esigenze variabili in relazione alle condizioni locali e agli obiettivi generali, e vanno effettuate comunque in relazione:

* alla maggior efficacia delle singole specie nell'abbattimento dell'inquinamento presente (gassoso e acustico);
* alla resistenza all'inquinamento;
* al massimo contributo alla biodiversità a alla riduzione dell'inquinamento genetico (utilizzo di specie e varietà autoctone e riduzione delle popolazioni di esotiche);
* alla continuità della capacità filtrante (specie sempreverdi e/o semipersistenti);
* all'adattabilità e facilità di manuten-

zione;
* alla capacità di radicamento e di miglioramento del suolo;
* alla compatibilità ecologica alle condizioni pedoclimatiche presenti e alle caratteristiche di consociabilità con le altre specie selezionate;
* alla capacità di fornire cibo e protezione alla fauna selvatica;
* all'effetto percettivo, in sintonia con le caratteristiche del paesaggio attraversato.

Composizione specifica

La composizione del corridoio vegetato di mitigazione deve tenere delle condizioni ecologiche in cui si deve operare e della disponibilità di materiale vegetale, tendendo comunque ad una ottimizzazione della diversità specifica che risulta, nella maggior parte delle situazioni, più versatile delle situazioni monospecifiche.
- *Attività vegetativa*. Le specie impiegate, entro i limiti possibili, non devono presentare apparati radicali invadenti, limitato ricaccio di polloni alla base del fusto e dalle radici; pollini e semi allergogeni.
- *Portamento*. Per la formazione di ecosistemi pluristratificati è necessario prevedere dal dimensione e la maggiore o minore capacità espansiva di ciascuno strato, in maniera da conservarne la continuità in senso verticale ed orizzontale.
- *Fototemperamento*. È un elemento fondamentale per garantire che la struttura ipotizzata si mantenga nel tempo. Gli strati bassi della barriera dovranno essere pertanto formati da piante sciafile e, via via secondo un gradiente verticale, sarà possibile usare specie a eliofilia crescente.
- *Fenologia*. Le latifoglie decidue, soprattutto quelle a foglia larga e/o pubescente, hanno normalmente una notevole efficacia sia nei confronti degli inquinanti atmosferici che del rumore, che però è limitata al periodo di attività vegetativa. Per questo è opportuno prendere in considerazione anche specie semidecidue e sempreverdi. Possibili problemi legati a manifestazioni vegetative tipiche della specie (polline, frutti marcescenti, radici superficiali) sono da tenere in considerazione soprattutto per limitare ulteriori e successivi interventi manutentivi.

Parametri strutturali

Per la definizione della struttura i criteri generali di progettazione sono:
* l'adeguamento alle funzioni primarie e secondarie che si vogliono attribuire all'impianto (frangivento, protezione dall'inquinamento, di habitat corridoi ecologici per fauna e flora, ecc.);
* la garanzia, in presenza di almeno tre strati vegetativi, dell'alternanza tra ceppaie e/o arbusti alti e arbusti bassi;
* la compatibilità con le caratteristiche ambientali *sensu lato* del sito (spazio disponibile, fonti inquinanti, caratteri pedo-climatici, ecc.).

Gli elementi più nello specifico da considerare sia a livello locale che paesaggistico sono i seguenti.
- *Continuità orizzontale*. Nel caso di sorgenti di rumore e/o di inquinamento lineari e possono verificarsi fenomeni di aggiramento ai margini della formazione barriera stessa, come avviene nella realizzazione di frangivento, e in questo caso le due funzioni sono obiettivi combacianti. Nel caso dell'emissione di inquinanti il problema è che le sorgenti sono mobili e l'emissione è continua. Nel caso di barriere antirumore è da ricordare che ai bordi laterali della barriera viene perduta, a causa della rifrazione, una parte della riduzione di rumore. Riguardo alle funzioni di habitat e movimento di flussi biotici esplicati da questi sistemi a scala paesaggistica, l'assenza di interruzioni prive di connessioni con altri sistemi a vegetazione paranaturale è altrettanto negativa.
- *Stratificazione verticale*. L'efficienza complessiva aumenta con il numero di strati e, di conseguenza, con l'altezza della barriera. La stratificazione verticale deve assicurare il massimo di continuità della massa fogliare epigea su ogni strato. La presenza di rilevati in terra concorre a definire l'altezza complessiva della barriera. Per quanto riguarda la riduzione del rumore è di primaria importanza che la barriera superi la linea congiungente sorgente sonora e ricevitore, e che l'altezza della sistema rimanga costante, poiché ad ogni sua variazione si associa sempre un'oscillazione del livello di energia sonora.
- *Permeabilità*. Questi sistemi devono risultare in funzione del controllo anemometrico ed ecologico semipermeabili, fattore che non modifica la capacità di controllo dell'inquinamento acustico e atmosferico. Questo risultato è raggiungibile con sesti di impianto adatti alla fenologia delle specie usate e a cure colturali che favoriscano lo sviluppo della ramificazione secondaria.
- *Localizzazione*. La formazione mitigatrice dovrebbe essere posizionata il più vicino possibile alla fonte di emissione, in relazione alla normativa vigente. Questo per massimizzare la funzione antinquinamento atmosferico e ridurre l'effetto di "scavalcamento" dell'onda sonora nel caso di inquinamento acustico. Relativamente alla riduzione dei metalli pesanti, la maggiore efficacia è assicurata da barriere pluristratificate poste ad una distanza dal margine stradale non superiore ad un paio di metri. A scala di paesaggio la localizzazione dovrebbe massimizzare la connessione con le strutture vegetate esistenti ed essere associata ai passaggi faunistici per minimizzare l'isolamento dei flussi biotici.
- *Larghezza*. La struttura può influenzare il tipo, la densità e le varietà di specie presenti: nella porzione centrale dei corridoi più larghi possono essere presenti specie di interno, mentre al diminuire della larghezza dominano le specie di margine e/o rustiche. L'influenza sulla diversità faunistica ha luogo perché le specie variano al variare della nicchia occupata all'interno del biospazio. La larghezza, in stretta associazione con la complessità verticale (sistemi pluristratificati, disetanei, con strato erbaceo) e con l'altezza è, infatti, un buon indicatore della diversità delle specie presenti e/o insediate, della densità di nidificazione/riparo e foraggiamento, della efficacia di accoppiamento. La larghezza della struttura svolge anche un ruolo positivo nell'abbattimento di inquinanti, veicolati sia dall'acqua che dall'aria, ed in entrambe i casi l'efficacia si concentra nei primi metri di impianto. Nell'abbattimento dell'inquinamento acustico il fenomeno dello scattering (capacità della vegetazione di deviare l'energia sonora attraverso l'assorbimento, la riflessione e la rifrazione dell'onda sonora) può generare nelle immediate vicinanze della sistema arboreo-arbustivo un aumento dell'energia sonora stessa; questo fenomeno può essere risolto aumentando la tortuosità del percorso dell'onda sonora attraverso un maggiore spessore ed una forma non regolare del confine acustico del sistema. Sistemi profondi dai 2-3 ai 25 m garantirebbero una abbattimento acustico di circa 3-9 dB fino ad oltre 10-12 dB. Riguardo alla normativa attuale, l'art. 9 della legge n. 729/1961 fissa una distanza di 10 metri dalla zona di occupazione dell'autostrada per "gli alberi da piantare": la definizione è talmente impropria e generica che rende difficile estrapolare un'applicabilità agli impianti previsti.

Tab. 1 - Composizione specifica dei diversi tipi di impianti arbustivi previsti

Tipo di Impianto	Specie	
Arbusteto alto		
	Ligustrum vulgare	ligustro
	Juniperus comunis	ginepro
	Salix caprea	salicone
	Altri (Prunus padus, Prunus mahaleb, Prunus spinosa, Rhamnus frangula)	(pado, ciliegio canino, prugnolo, frangola)
Arbusteto basso		
	Cornus sanguinea	corniolo
	Viburnum opulus	pallon di maggio
	Evonymus europaeus	evonimo
	Altri (Rosa canina, Crataegus monogina, Berberis vulgaris)	rosa canina, biancospino crespino

Tab. 2 - Composizione specifica e percentuale degli impianti arborei previsti
*** Nel caso della rovere o della farnia la scelta verrà fatta in base alle caratteristiche pedologiche e di falda locali**

Tipo di Impianto	**Specie**	
Alberi di prima grandezza		
	*Quercus peduncolata,Q. sessiliflora**	rovere, farnia
	Populus alba	pioppo bianco
	Fraxinus excelsior	frassino
	Platanus acerifolia	platano
Alberi di seconda-terza grandezza		
	Acer campestris	acero
	Carpinus betulus	carpino bianco
	Tilia cordata	tiglio selvatico
	Malus sylvestris	melo selvatico
Arbusti alti		
	Ligustrum vulgare	ligustro
	Laurus nobilis	alloro
	Salix caprea	salicone
	Altri (Prunus padus, Prunus mahaleb, Prunus spinosa, Rhamnus frangula)	(pado, ciliegio canino, prugnolo, frangola)
Arbusti bassi		
	Viburnum opulus	pallon di maggio
	Evonymus europaeus	evonimo
	Cornus sanguinea	corniolo
	Crataegus monogina	biancospino
	Berberis vulgare	crespino
	Rosa canina	rosa canina

CORRIDOI ARBOREO ARBUSTIVI DI MITIGAZIONE: ESEMPI PROGETTUALI

Il raggiungimento degli obiettivi di progetto

Sulla scorta dei criteri sopra ricordati è possibile individuare i possibili moduli progettuali per ciascuna tipologia costruttiva dell'opera in relazione ai vari tipi di microclima riscontrabili (esposizione, orientamento).
La distribuzione (in funzione della distanza dalle fonti inquinanti, della pendenza, ecc), la composizione e la struttura di volta in volta individuati, infatti, devono ottimizzare gli obiettivi previsti trovando i compromessi più efficienti tra funzionalità ricercate e limiti (delle piante e/o delle condizioni pedoambientali previste). La struttura pluristratificata dei moduli di impianto utilizzati permette la creazione di barriere vegetali che garantiscono al contempo un corretto sviluppo delle varie specie utilizzate, diverse per forma e dimensioni.
Riguardo, in particolare, la scelta delle specie, questa si fa ricadere all'interno della vegetazione potenziale del sito facendo attenzione al significato culturale e storico presente nell'immaginario collettivo. Nel caso in oggetto si è preso in considerazione il carattere rurale della zona, armonizzando la vegetazione prevista con quella naturale delle aree circostanti, evitando, quindi, contrasti non solo vegetazionali ma anche cromatici e storico-culturali.
A titolo di esempio si riporta uno dei moduli progettati, descritto in via sintetica.

Ecosistema arboreo arbustivo di mitigazione per tipologia in trincea, bordo settentrionale

Questo modulo è dal punto di vista strutturale assai diversificato e costituito:
* da alberi di prima (altezza maggiore di 20 m), di seconda (altezza massima di 15-20 m), e di terza - quarta grandezza (altezza massima di 5-15 m);
* da arbusti alti e bassi (altezza massima 3-8 m).
Il modulo progettuale è costituito da due sottomoduli.

Arbusteto misto in versante

Le specie sono state selezionate sulla base dei criteri ricordati e sono riportate per tipo di impianto in **tabella 1**. La scelta e la composizione delle specie garantirà, oltre il raggiungimento degli obiettivi descritti, miglioramento delle caratteristiche geotecniche ed idrologiche dei versanti, come dimostrato delle analisi svolte (non riportate). Non sono riportati i sesti di impianto e le percentuali compositive.
Le specie utilizzate andranno a formare un arbusteto alto sulla parte superiore del versante disponibile, ed un arbusteto basso sulla parte inferiore del versante; la larghezza avrà un valore medio di circa quattro metri per ciascuna formazione, e complessivamente non supererà comunque un fascia di rispetto di due metri a partire dal ciglio del fossetto di raccolta acque,

Fig. 1 - Rappresentazione schematica dello schema di impianto di mitigazione previsto per i moduli 1 e 2

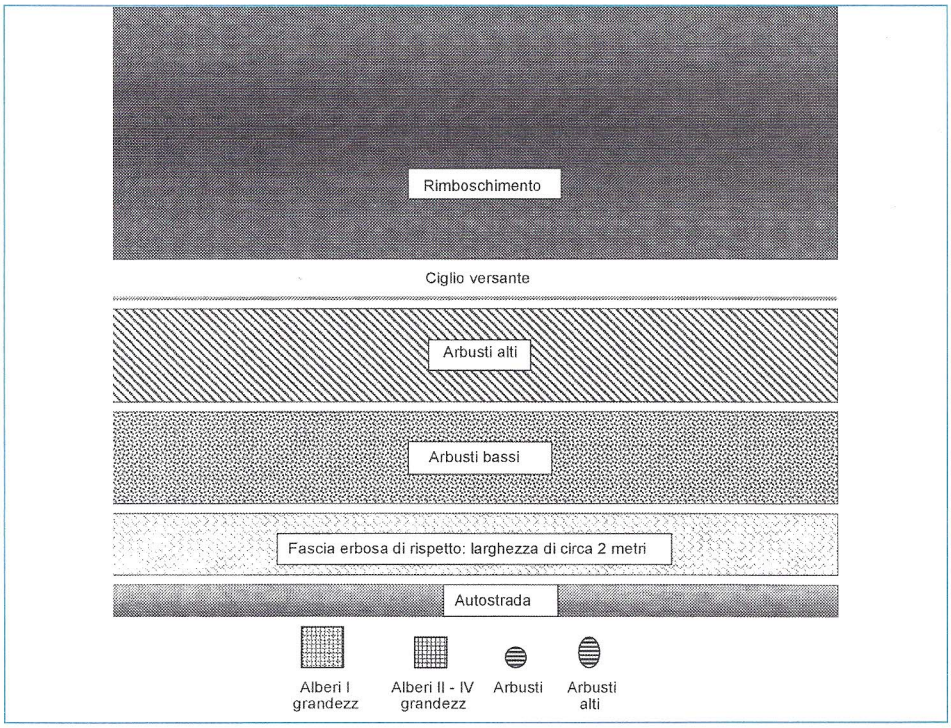
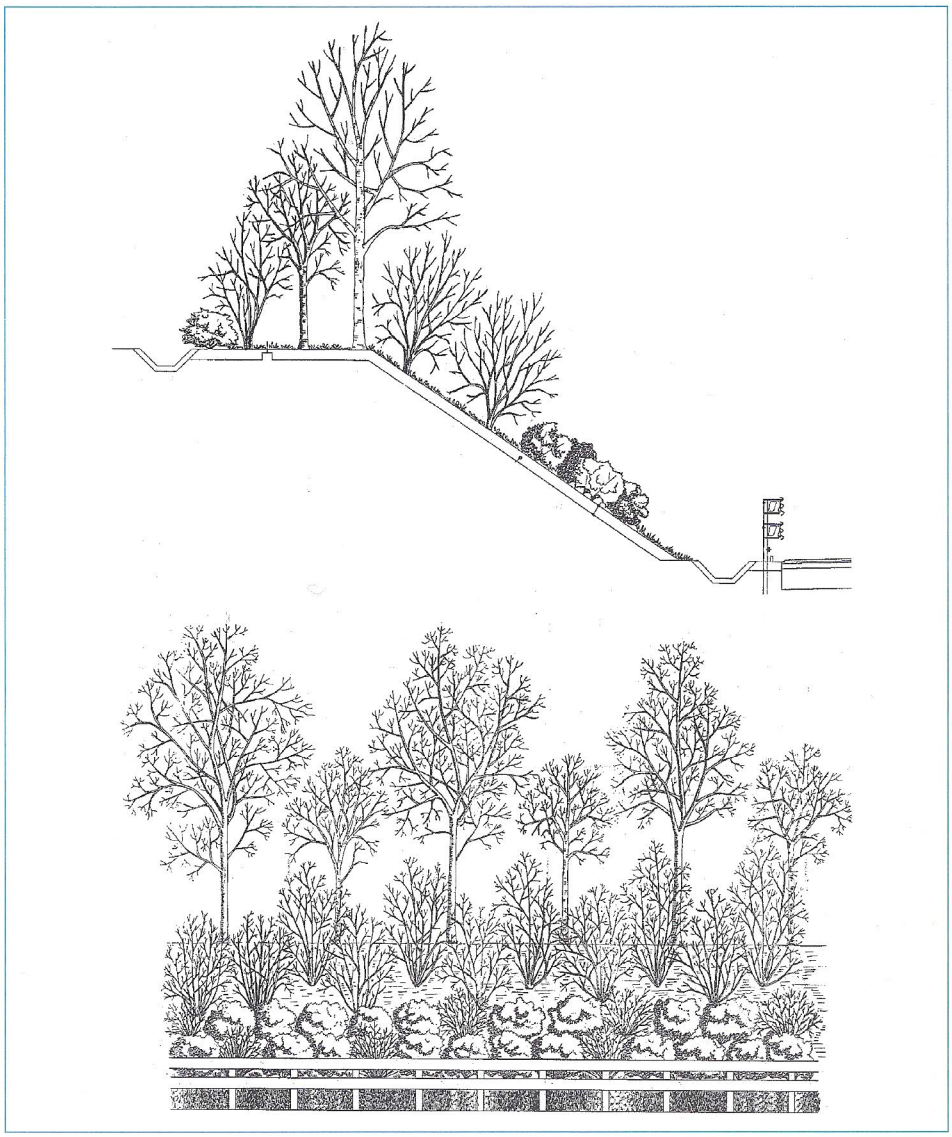


Fig. 2 - Rappresentazione dello schema di impianto di mitigazione riportato a titolo di esempio. *Disegni di Marco Tosato*



come da rappresentazione schematica in **figura 1** e rappresentazione grafica in **figura 2**.
All'inizio della scarpata sarà posizionata una barriere/recinzione in metallo (specifiche non riportate) per la eventuale meso e macro-fauna in attraversamento. Prima dell'impianto in scarpata sono stati previsti interventi antierosione per inerbimento e/o biostuoia.

Rimboschimento

Il rimboschimento con specie arboreo-arbustive sarà effettuato per una larghezza di circa 5 metri a partire dall'inizio della scarpata, come da rappresentazione schematica in figura 1 e rappresentazione grafica in figura 2. Le specie utilizzate saranno inserite per file parallele, costituite, in successione dal sedime stradale, da alberi di prima grandezza, di seconda - terza grandezza, arbusti alti, arbusti bassi, come da rappresentazione schematica in figura 1 e rappresentazione grafica in figura 2. Gli esemplari saranno piantati in maniera sfalsata per garantire il riempimento omogeneo del biospazio previsto e la massimizzazione nell'abbattimento del rumore.
Le specie sono state selezionate in funzione delle caratteristiche ecologiche presenti e ricercate del sito e dei comportamenti noti relativamente ai processi ecologici indagati **(Tab. 3).**

INTERAZIONE TRA ECOSISTEMI DI MITIGAZIONE E STRUTTURE PAESAGGISTICHE: L'OTTIMA ALLOCAZIONE RISPETTO ALLE RETI ECOLOGICHE ESISTENTI E LA STIMA DELLE MITIGAZIONI

Sulla base di quanto scritto nei paragrafi precedenti, scopo dell'intera attività di progettazione e pianificazione degli impianti arboreo-arbustivi di mitigazione è stato:
* minimizzare l'impatto acustico e inquinante dell'asse viario rispetto al paesaggio circostante;
* massimizzare le funzioni ecologiche in senso lato dell'asse viario e degli ecosistemi forestali ad esso associati;
* massimizzare la connessione degli impianti di mitigazione con le reti di corridoi vegetati (agroforestali) esistenti;
* localizzare gli impianti dove operativamente possibile in base alle informazioni disponibili (tracciati e tipologie di progetto, foto aeree manufatti presenti o di prevista eliminazione).

Gli obiettivi sopra ricordati sono stati raggiunti tanto da una attenta progettazione, quanto da una stima degli effet-

ti paesaggistici in senso ampio degli interventi previsti.
Sono stati così pianificati e progettati circa 300 chilometri di impianti relativamente a tutte le soluzioni alternative considerate, per una estensione di circa 520 ettari. Questi corrispondo grossomodo, per ciascuna alternativa, a circa 110-130 kilometri di impianto e a 200-220 ettari di imboschimento.
Sono stati previsti altresì passi faunistici di varia natura, ed in interventi di mitigazione in alveo tanto in fase di cantiere che di esercizio per tutti gli ambiti fluviali, qui non trattati.
L'analisi degli effetti complessivi delle mitigazioni è avvenuto, necessariamente, a scala di paesaggio mediante l'utilizzo di strumenti messi a punto per le valutazioni della "qualità" eco-paesistica. Non è possibile in questa sede approfondirne le caratteristiche teorico concettuali e metodologiche, per le quali si rimanda alla bibliografia di riferimento ma risulta necessario almeno indicare quali parametri paesaggistici sono stati indagati ed in che modo sono stati stimati.
La ***complessità della configurazione spaziale*** di un paesaggio è legata alla sua ***eterogeneità***, e in termini generali e relativamente ai paesaggi culturali studiati, alla biodiversità. Valori di eterogeneità molto bassi sono infatti spesso considerati associati ad alti livelli di povertà biogenetica, a bassi livelli di metastabilità, a bassi livelli di energia potenziale e a una veloce esportazione di materia e energia. L'eterogeneità è anche legata alla complessità (varietà ed intensità) dei flussi paesaggistici, che aumentano con le condizioni di ecotono.
La ***frammentazione*** di un paesaggio viene indagata in base al principio che la *configurazione spaziale delle strutture paesaggistiche influenza i processi ecologici nel paesaggio*. Tanto più un paesaggio risulta frammentato, tanto più, in termini generali, si riducono gli habitat naturali e le specie che ne necessitano l'esistenza, aumentano le condizioni di margine, diminuisce la connettività rispetto a vari processi paesaggistici.
Le ***potenzialità biocenotiche*** di un paesaggio possono essere associate alla capacità portante dei sistemi che lo compongono, ed in prima istanza alla loro riproducibilità ed al biospazio da questi occupato. Se con il parametro precedente si indaga sulla organizzazione orizzontale delle strutture paesaggistiche, in questo caso se ne valuta l'influsso della struttura verticale.
La ***connettività*** in un paesaggio indica un rapporto funzionale tra ecotopi. Un'alta connettività rispetto ad un determinato processo può avere effetti positivi o negativi nella gestione di un paesaggio. Per i motivi ricordati in introduzione la connettività dei sistemi arboreo arbustivi presenti è un buon indicatore della dispersione delle popolazioni floro-faunistiche e di altri processi paesaggistici.
Le analisi sui parametri di riferimento sono state effettuate mediante una serie di indicatori su unità analitiche di 1 km^2, nelle quali è stato suddiviso uniformemente il paesaggio considerato. Per una disamina dei criteri e sottocriteri utilizzati per la stima dei parametri si rimanda alla citata bibliografia, in questa sede si ricorda che i valori riportati sono stati resi confrontabili mediante standardizzazione (con la norma del vettore di valori della matrice delle unità paesaggistiche considerate).
Naturalmente gli effetti positivi degli interventi di mitigazione non sono in grado, come atteso, di annullare del tutto gli effetti negativi dovuti alla *frammentazione* del paesaggio indotta dall'asse autostradale, che genera inevitabilmente l'innesco di un processo di dissezione. Va fatto notare, però che la realizzazione della infrastruttura corredata dalle opere di mitigazione porta ad una variazione modesta del para-

Fig. 3 - Distribuzione delle differenze tra i parametri di giudizio delle condizioni eco-paesaggistiche nelle situazioni *ex ante operam* e *ex post operam* mitigata nelle unità di paesaggio analizzate

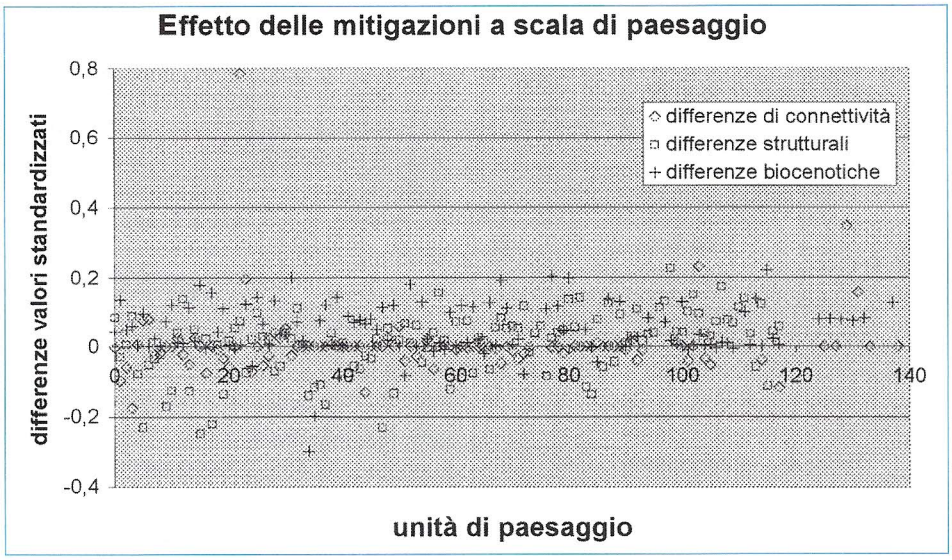
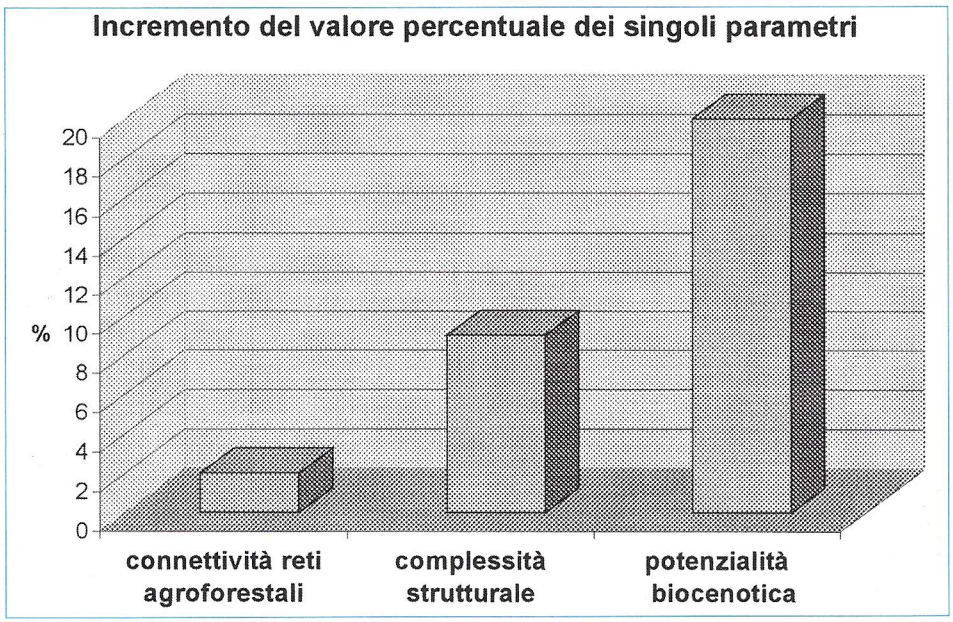


Fig. 4 - Differenze percentuali complessive tra i parametri di giudizio delle condizioni eco-paesstiche nelle situazioni *ex ante operam* e *ex post operam* mitigata nel paesaggio analizzato



metro considerato, caratterizzato da valori elevati nel paesaggio considerato.
Nel caso degli altri tre parametri, invece, le opere di mitigazione determinano un generale annullamento degli impatti determinati dalla realizzazione, o in alcuni casi un miglioramento delle condizioni *ante operam*. Analizzando la **figura 3** si nota come le differenze dei parametri standardizzati tra la situazione *ex ante* e la situazione *ex post* mitigata porti a variazioni (in una scala compresa tra +1 e -1) piuttosto limitate, sia in positivo che in negativo, dei parametri di *complessità della configurazione spaziale* (eterogenità), di *potenziale biocenotico* e di *connettività* delle reti agroforestali. In ciascuna unità il valore medio dei parametri presenta un incremento delle differenze standardizzate compreso tra +0,1 e +0,3.
Analizzando invece il *bilancio* a scala di intero paesaggio tra i valori positivi e negativi degli impatti sui parametri paesaggistici tenuto conto delle mitigazione (**Fig. 4**), considerando dunque la sommatoria delle differenze tra lo stato *ex ante* ed *ex post* mitigato di tutte le unità, si nota come gli incrementi percentuali si attestino tra il 2 ed il 20%.

CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che quando una attenta mitigazione delle infrastrutture viarie realizzata con sistemi concreti ed affidabili, come i corridoi boscati marginali, genera benefici stimabili a scala locale e a scala di paesaggio.
Anche limitandosi solo a questa categoria di interventi di mitigazione, si possono rilevare non solo riduzioni degli impatti, ma addirittura incrementi di alcuni parametri di "qualità" eco-paesistica.
Questo ribadisce come la realizzazione di infrastrutture viarie, quando stabilità come necessaria da una società, debba essere considerata certamente individuando la soluzione con una produzione minima di impatti potenziali sull'ambiente e sulla comunità stessa, ma debba altresì massimizzare non solo i benefici in termini economico-produttivi, ma quelli ottenibili in termini di gestione strategica e sostenibile del paesaggio e dell'ambiente.

Bibliografia

Beck C., 1982
Pflanzen als mittel zur Larmbekampfung
Patzer Verlag Gmbh. Berlin

Bell S, 1999
Landscape: Pattern, Perception and Process
E & F N Spon

Brotons L., Herrando S., 2001
Reduced bird occurrence in a pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area
Landscape and Urban Planning 57 (2): 77-89

Bussotti F., Grossoni P., Batistoni P., Ferretti M., Cenni E., 1995
Prelminary studies on the ability of plant barriers to capture lead and cadmium of vehicular origin
Aerobiologia, 11: 11-18

CETUR, 1983
Acoustique et végétation. Effets de la végétation sur la propagation du bruit routier au ferrovier
Le dossier du CETUR, 17

Cook D.I., Van Haverbeke D.F., 1977
Suburban noise control with plantings and soil barrier combination
University of Nebraska, USFS

Dinetti D. Ed., 2000
Infrastrutture Ecologiche
Il Verde Editoriale, Milano

Forman R.T.T 1995
Land Mosaic
Cambridge University Press. Cambridge

Franco D, 1997
La procedura PLANLAND©®: un nuovo strumento per l'analisi e la progettazione paesistica
Acer,1/97 - Acer,3/97

Franco D., 2000 a.
Reti ecologiche, agroforestaziene e paesaggio
Il Verde Editoriale, Milano, Italia

Franco D., Ghetti P., Tosato M., DiMenna S., 2002
Applicazione dei principi dell'ecologia del paesaggio alla Valutazione di Impatto Ambientale di un'opera autostradale: un caso studio recente
Estimo e Territorio. 1(65): 38-49

Franco D., Franco David, Mannino I., Zanetto G., 2002
The impact of agroforestry networks on scenic beauty estimation: the role of a landscape ecological network on a socio-cultural process
Landscape and Urban Planning, in litteris

Franco D., 2002
An analyses of the agroforestry network planning in the landscape amelioration process: the scale and pattern influences on the hedgerow networks' effect on landscape processes
Environmental Management and Health, in litteris

Fricke F., 1984
Sound attenuation in forest
Journal Sound Vibration, 92, 149-158

Gustavson E.J., 1998
Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?
Ecosystem 1:143-156

Hudson W.E. (ed.),1991
Landscape Linkages and Biodiversity
Island Press USA

Kaplan s., Kaplan R., 1982
Cognition and environment: functioning in an uncertain world
Praeger Publisher, New York

McIntyre N.E., 1995
Effects of forest patch size on avian diversity
Landscape Ecology 2(10):85-100

Miller J.N., Brooks R.P., Croonquist M.J., 1997
Effects of landscape pattern on biotic communities
Landscape Ecology 3(12):137-153

Naveh Z., Liberman A.S., 1994
Landscape Ecology: Theory and Application
Springer Verlag. New York

Opdam P., 1991
Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review holartic breeding bird studies
Landscape Ecology. 2(5)

Schuepp P.H., 1989
Microstructure density and wetness effects on dry deposition to foliage
Agricoltural and Forest Meteorology, 47, 179-198