

Componenti naturalistiche e infrastrutture viarie: primo bilancio delle esperienze di monitoraggio in essere in Lombardia[§]

Pierfrancesca Rossi* e Elisa Villa, Claudio Frasca

ARPA Lombardia, Unità Organizzativa Risorse Naturali e Biodiversità, Via Rosellini 17 – 20124 Milano

* Referente per la corrispondenza: p.rossi@arpalombardia.it)

§ Lavoro vincitore del premio della sessione poster, dedicata alla memoria di Enrico Olivieri

Riassunto

Il territorio lombardo è attualmente interessato dalla costruzione di tratte autostradali identificate come opere strategiche di rilevante interesse nazionale (L. n. 443/2001). I committenti di tali opere devono presentare e realizzare un Piano di Monitoraggio Ambientale finalizzato a sorvegliarne le ricadute sulle diverse matrici ambientali. ARPA Lombardia, fornendo un supporto tecnico alle autorità pubbliche, verifica la corretta predisposizione ed esecuzione del Piano e valuta i risultati del monitoraggio.

Per le componenti naturalistiche, in assenza di riferimenti normativi, ARPA Lombardia ha avviato un percorso al fine di individuare indicatori, indici e soglie di attenzione utili per il processo valutativo. Dalle esperienze in essere sono emersi come fondamentali: 1) l'ambito territoriale di realizzazione dell'opera; 2) la scelta delle comunità biologiche indicatrici; 3) l'individuazione di stazioni di monitoraggio rappresentative. Poiché l'avifauna è stata individuata come uno dei bioindicatori più idonei, è stata condotta un'analisi statistica confrontando ricchezza in specie ed *evenness* della comunità nelle fasi *ante operam* e in corso d'opera, con la finalità di distinguere le variazioni casuali da quelle significative.

Gli sforzi futuri sono indirizzati alla messa a punto di un indice sintetico per l'attribuzione di un valore di qualità ecologica a ogni stazione, e di un sistema per valutare le variazioni critiche.

PAROLE CHIAVE: componenti naturalistiche / monitoraggio / impatto da infrastrutture viarie

Wildlife and highways: a first monitoring report in Lombardy (Italy)

At present, in Lombardy persists the building of highways that are identified as strategic infrastructures of relevant national interest (Italian Law n. 443/2001). The consigners of those infrastructures have to produce and realize an Environmental Monitoring Plan, aimed to the survey of the effects on the environmental components.

ARPA Lombardia (Environmental Protection Agency of the Lombardy Region), whilst giving a technical assistance to the public authorities, keeps under control settings and execution of the Plan, and validates the results of monitoring activities. Because of the lack of guidelines regarding wildlife, ARPA Lombardia has started a path in order to identify indicators, indices and limit values about the assessment process. The ongoing experiences have brought items of basic importance: 1) the territorial context of highways building; 2) the choice of biological communities as indicators; 3) the identification of representative monitoring sites.

Since the avian community has been identified as one of the most suitable indicator, a statistical analysis has carried out -coupling species richness and evenness index before and during construction activities- to distinguish between significant and casual variations.

Future efforts focus on development of a synthetic index of ecological quality of the sites and an assessment framework evaluating critical changes.

KEY WORDS: wildlife / monitoring / highways impact

INTRODUZIONE

L'Italia è impegnata nella realizzazione di circa quattrocento grandi opere, vale a dire di quelle opere pubbliche definite "strategiche e di preminente interesse nazionale". Circa un quarto di tali opere interessano il territorio lombardo e sono rappresentate da strade, autostrade, linee ferroviarie e metropolitane; le principali tratte autostradali a sostegno del sistema viabilistico regionale già in fase di costruzione sono la Pedemontana Lombarda, il collegamento autostradale Brescia-Milano e la Tangenziale Est Esterna di Milano (Fig.1).

La procedura connessa alla realizzazione delle grandi opere prevede la progettazione e l'esecuzione -a carico del committente- del Piano di Monitoraggio Ambientale con la finalità di verificare le ricadute dell'opera sulle diverse matrici ambientali e di segnalare precocemente il verificarsi di variazioni critiche per l'ambiente, permettendo quindi di intervenire nella fase reversibile delle ricadute stesse. Attraverso il Piano di Monitoraggio Ambientale si confrontano le condizioni originarie (fase di *ante operam*) con le condizioni in fase di esercizio (fase di *post operam*), e si verificano gli effetti della cantierizzazione (fase di corso d'opera).

In Lombardia il ruolo di ARPA si configura come supporto tecnico all'Osservatorio Ambientale: si esplicita quindi con la verifica della corretta predisposizione ed esecuzione del Piano di Monitoraggio Ambientale, nella gestione di eventuali criticità ambientali che dovessero presentarsi durante la realizzazione dell'opera e nella valutazione dei risultati del monitoraggio, risultati resi disponibili al pubblico dal committente.

Mentre per la maggior parte delle matrici ambientali la valuta-

zione delle ricadute dell'opera si poggia su dettati normativi, per le componenti naturalistiche degli ambienti terrestri essa non dispone di alcun riferimento: ARPA Lombardia ha quindi avviato un percorso basato sulle prime esperienze di monitoraggio in essere sul proprio territorio per individuare indicatori, indici e soglie di attenzione utili per il processo valutativo.

La necessità di individuare e quantificare gli effetti delle infrastrutture lineari sugli ecosistemi ha dato origine in anni recenti a un ramo dell'Ecologia che prende il nome di *Road Ecology* (FORMAN *et al.*, 2003); la disciplina sta progressivamente assumendo un ruolo di riferimento, testimoniato dall'istituzione di centri di ricerca e dal crescente numero di articoli pubblicati sulle riviste scientifiche, di report e di linee guida di buone pratiche nonché di conferenze internazionali (IUELL *et al.*, 2003; TROCME *et al.*, 2003; FILA-MAURO *et*

al., 2005; CLEVINGER e HUISER, 2009; FABIETTI *et al.*, 2011).

Esaminando le *reviews* (SPELLERBERG, 1998; FORMAN e ALEXANDER, 1998; TROMBULAK e FRISSELL, 2000; SEILER, 2001; COFFIN, 2007) si evince come i principali effetti negativi delle infrastrutture viarie sui sistemi naturali si manifestino sia a livello di habitat sia di individuo, di popolazione o di comunità (Fig.2).

A livello di habitat vengono segnalati:

- *sottrazione di habitat*: la sottrazione può essere diretta, per rimozione degli habitat esistenti, o indiretta cioè derivata dall'alterazione degli habitat: la presenza di un'infrastruttura può infatti modificare variabili ambientali connesse alle dinamiche idro-geologiche o microclimatiche, così come variabili quali il rumore o la luminosità. La zona di ricaduta degli effetti dell'infrastruttura è definita *road-effect zone* (FORMAN e DEBLINGER,

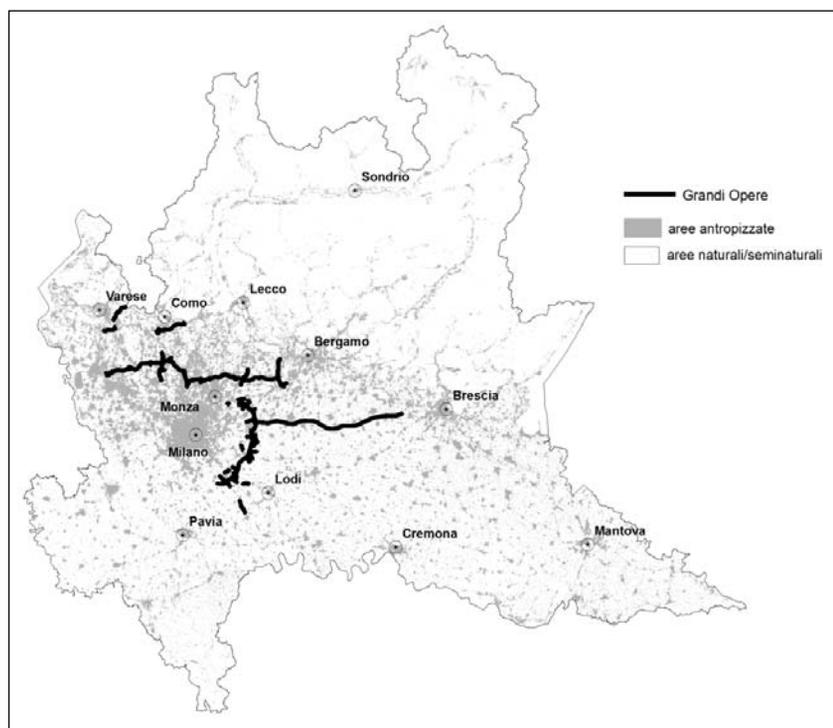


Fig. 1. Principali tratte autostradali in costruzione in Lombardia.

2000) e ha ampiezza diversa in funzione delle variabili ecologiche considerate, del contesto ambientale e delle caratteristiche dell'infrastruttura. Per le autostrade a elevato volume di traffico alcuni studi (REIJNEN *et al.*, 1995; FORMAN e DEBLINGER, 2000; EIGENBROD *et al.*, 2009) riportano che la *road-effect zone* è generalmente compresa tra 100 e 1000 m ai lati del sedime autostradale; sul lungo periodo, inoltre, sembra che la zona potenzialmente impattata tenda ad ampliarsi (SPILLERBERG, 1998);

- *effetto barriera e frammentazione di habitat*: il processo di frammentazione determinato dalla presenza di un'infrastruttura lineare comprende la perdita di una parte di habitat, la diminuzione della grandezza dei frammenti e l'aumento dell'isolamento degli stessi (FAHRING, 2003). In aree naturali i corridoi infrastrutturali dividono gli habitat creando "isole" per alcune specie e generando l'effetto margine (ANDREWS, 1990). La frammentazione in superfici più piccole limita la possibilità di movimento delle popolazioni e quindi, in ultima analisi, la ricchezza in specie; l'effetto barriera tende infatti a creare meta-popolazioni che hanno fluttuazioni più ampie nel tempo e hanno maggiore probabilità di estinzione (FORMAN e ALEXANDER, 1998).

A livello di individuo vengono segnalati:

- *aumento della mortalità degli animali*: dovuta in primo luogo alla collisione con i veicoli in movimento; ne consegue un effetto negativo sulla demografia delle popolazioni, in particolare di alcune specie e gruppi tassonomici (FORMAN e ALEXANDER, 1998; JAEGER *et al.*, 2005) quali i Rettili o gli Anfibi;

- *cambiamento nel comportamento*: la presenza di un'infrastruttura può determinare cambiamenti com-

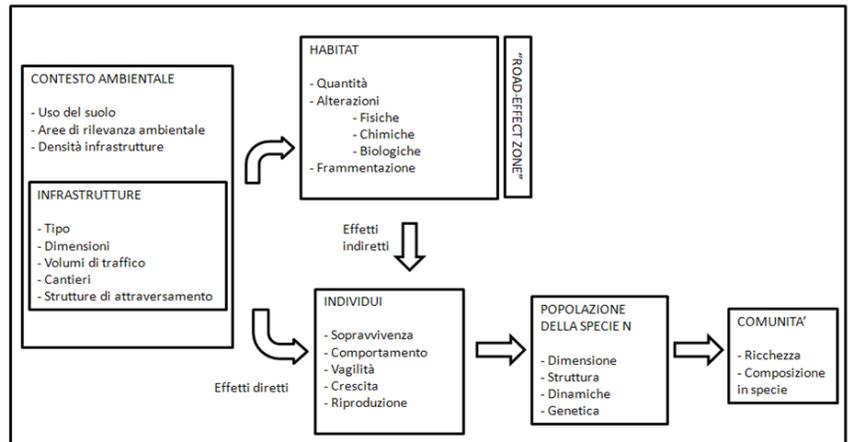


Fig. 2. Infrastrutture viarie ed effetti diretti e indiretti determinati sui sistemi ecologici.

portamentali nelle specie selvatiche, da cui deriva alterazione dei pattern di distribuzione e del successo riproduttivo con evidenti ricadute sulla demografia delle popolazioni; in generale questi fenomeni sono proporzionali alle dimensioni dell'infrastruttura e ai volumi di traffico (JAEGER *et al.*, 2005).

A livello di popolazione la letteratura riporta una generalizzata forte evidenza di effetti negativi delle strade (FAHRIG e RYTWINSKI, 2009); essi si manifestano attraverso molteplici dinamiche, tra le quali:

- *erosione della diversità genetica e diminuzione dell'eterozigosità* per incrocio nelle meta-popolazioni originatesi a causa dell'effetto barriera determinato dall'infrastruttura (REH e SEITZ, 1990; PUKY, 2006);

- *aumento della probabilità di estinzione locale* a causa delle ridotte dimensioni delle popolazioni e diminuzione della possibilità di recupero in seguito all'inibizione dell'immigrazione determinata dall'effetto barriera (JAEGER *et al.*, 2005).

A livello di comunità si registrano le conseguenze degli effetti agenti a livello di popolazione, e quindi:

- *cambiamento nella ricchezza in specie* e perciò perdita di biodiversità per numerosi taxa di fauna sel-

vatica (FORMAN e ALEXANDER, 1998; COFFIN, 2007) e modificazione della composizione specifica delle fitocenosi (TYSER e WORLEY, 1992);

- *aumento dell'abbondanza di specie esotiche* a causa della maggior dispersione favorita dalle infrastrutture attraverso tre meccanismi principali: creazione di un habitat alterato, alterazione fisiologica o rimozione delle specie native, facilitazione del movimento naturale mediato da fattori antropici (TROMBULAK e FRISSELL, 2000).

Nel definire l'impianto su cui si regge il Piano di Monitoraggio Ambientale –piano che si deve basare su fondamenta scientifiche, ma non ha obiettivi di carattere speculativo– occorre procedere a un'analisi approfondita di molteplici aspetti, fermo restando che la potenza delle indagini attivabili dipende soprattutto dalle risorse economiche disponibili e solitamente rappresenta un compromesso fra costi e benefici.

Nella pianificazione di un efficace programma di monitoraggio delle componenti naturalistiche risultano fondamentali lo studio dell'ambito territoriale in cui verrà realizzata l'opera, la scelta delle comunità indicatrici e il corretto posizionamento delle stazioni.

AREA DI STUDIO

Il territorio nel quale sono in costruzione le tratte autostradali su cui si sta sviluppando l'esperienza di ARPA Lombardia è quello dell'alta e media pianura Padana, compresa tra la fascia collinare prealpina a Nord e la fascia delle risorgive a Sud. L'intera area si presenta come un'estesa pianura fortemente antropizzata; nel settore nord occidentale assume a tratti l'aspetto di un'unica conurbazione con poche aree agricole o boschive; il settore sud orientale presenta invece livelli di urbanizzazione meno accentuati sebbene la naturalità rimanga comunque molto bassa a causa dell'importante estensione delle monoculture; l'originario assetto floristico e strutturale delle coperture vegetali si presenta generalmente in forma residuale con frange arboree relitte e siepi ai bordi dei coltivi o lungo il reticolo idrografico superficiale.

Le principali tratte autostradali in fase di costruzione sono:

- il sistema viabilistico Pedemontano: presenta giacitura Est-Ovest e si snoda per 87 km (67 km di autostrada e 20 km di tangenziali), la maggior parte dei quali a 2 corsie; a seconda delle tratte, il volume di traffico è stimato tra 36.000 e 80.000 veicoli al giorno. Il tracciato stradale si inserisce in un contesto notevolmente antropizzato; le aree naturali presenti -per la mag-

gior parte di ridotta qualità naturalistica essendo rappresentate principalmente da robinieti- costituiscono comunque un sistema di filtro alla forte urbanizzazione;

- la Tangenziale Est Esterna di Milano: si sviluppa per circa 32 km con giacitura prevalente Nord-Sud e in previsione sosterrà un traffico medio di 70.000 veicoli al giorno. Il contesto ecosistemico varia considerevolmente lungo il tracciato passando dagli ecomosaici settentrionali e meridionali fortemente banalizzati a una struttura ecosistemica di valore nella parte centrale grazie alla presenza di sistemi ripariali, aree umide, teste di fontanile attive e dense fasce vegetazionali;

- il collegamento autostradale Brescia-Bergamo-Milano: presenta una lunghezza complessiva di 62 km e 3 corsie per senso di marcia, per un volume di traffico stimato tra 40.000 e 60.000 veicoli al giorno; si sviluppa in direzione Est-Ovest intersecando tre grandi fiumi -Oglio, Serio e Adda- a loro volta inseriti in parchi regionali, nonché la fitta rete idrografica artificiale ad essi collegata; attraversa una pianura irrigua intensamente coltivata nella quale le colture a cereali si alternano a prati da sfalcio; la vegetazione naturale, costituita da bosco misto di latifoglie, è ridotta a pochi lembi e le rilevanze floristiche si concentrano lungo i fiumi,

dove prevalgono associazioni igrofile intervallate da ampie colture a pioppo in golena. Le stazioni di monitoraggio di flora, vegetazione e fauna previste dal Piano di Monitoraggio, sono ubicate nei pressi dei tre corsi d'acqua principali e di tre fontanili, di cui due codificati come Siti di Importanza Comunitaria.

SCELTA DEI BIOINDICATORI

La scelta delle comunità indicatrici, da utilizzare per il monitoraggio delle potenziali ricadute delle infrastrutture sulle componenti naturalistiche, deve tenere conto sia di criteri di carattere generale -quali la sensibilità o la diffusione- sia degli stanziamenti economici per il monitoraggio, che tendono a ridurre il numero di campagne annuali (Tab. I). Le tempistiche di realizzazione delle opere possono rappresentare un ulteriore fattore limitante nella scelta di tali comunità in quanto la pianificazione di inizio attività non è talvolta compatibile con l'idonea stagione di campionamento.

Per il monitoraggio delle grandi opere che attraversano il territorio lombardo vengono effettuate indagini floristico-vegetazionali e indagini sui principali gruppi tassonomici faunistici di vertebrati; vengono utilizzate metodiche di tipo quali-quantitativo e il numero di campagne risulta limitato.

Tab. I. Comunità indicatrici utilizzabili per valutare le ricadute delle infrastrutture viarie: valore delle singole caratteristiche.

componente	numero specie	dimensione popolazioni	contattabilità	presenza specie indicatrici
Avifauna	++	++	++	++
Erpetofauna (Anfibi)	-	-	+	++
Erpetofauna (Rettili)	-	-	-	++
Teriofauna	+	-	--	+
Chiroterofauna	-	-	-	+
Ittiofauna	+	+	+	+
Flora	++	++	++	++
Vegetazione	++	++	++	++

Legenda: ++ buono; + discreto; - scarso; -- molto scarso

In generale, l'avifauna è una componente che risponde con relativa rapidità ai cambiamenti ambientali: un'ampia letteratura evidenzia l'effetto negativo delle infrastrutture viarie –in particolare del rumore da queste generato– sulle comunità ornitiche delle aree suburbane e rurali limitrofe ai centri abitati, fino a distanze di diverse centinaia di metri (REIJNEN *et al.*, 1995; REIJNEN *et al.*, 1997; FORMAN e DEBLINGER, 2000). Anche nelle esperienze finora condotte in Lombardia l'avifauna ha mostrato idoneità come indicatore per il monitoraggio: gli Uccelli rappresentano infatti la classe più numerosa in termini di specie e di dimensione media delle popolazioni, sono risultati presenti in tutti gli habitat considerati e in tutte le campagne effettuate.

L'erpetofauna è un'altra componente spesso utilizzata nei monitoraggi naturalistici in quanto è composta da numerose specie protette e ottime indicatrici delle ricadute dirette e indirette associate alla costruzione di un'autostrada (JOCHIMSEN *et al.*, 2004; ANDREWS *et al.*, 2007; GLISTA *et al.*, 2008); d'altro canto, però, Rettili e Anfibi risentono di un declino su scala globale associato a molteplici fattori di origine antropica (BLAUSTEIN e KIESECKER, 2002; STUART *et al.*, 2004). Anche nella pianura lombarda la presenza di estese aree agricole e urbanizzate ha ridotto notevolmente sia la presenza in specie che la dimensione delle popolazioni, confinandole in limitati ambiti. Se da una parte la vulnerabilità e la rarità di questo gruppo ne rafforzano il significato nel contesto del monitoraggio, dall'altra appare evidente che solo un elevato sforzo di campionamento e un adeguato numero di campagne annuali possono garantire una solida base di dati sulla quale poter effettuare valuta-

zioni di cambiamenti significativi.

L'impatto delle infrastrutture sulle popolazioni di Mammiferi –spesso causato da mortalità per collisione diretta e dall'effetto barriera– è testimoniato da numerose ricerche condotte in contesti ad elevata naturalità (FORMAN e ALEXANDER, 1998; SEILER, 2001; FAHRIG e RYTWINSKI, 2009; BENÍTEZ-LÓPEZ *et al.*, 2010). In Lombardia nel monitoraggio svolto in ambito Grandi Opere i Mammiferi –rappresentati da taxa con distribuzione e caratteristiche molto diverse tra loro– hanno fornito i risultati meno promettenti: le popolazioni di micro- e meso-mammiferi sono spesso di dimensioni ridotte e l'elusività delle specie elevata, entrambe caratteristiche che non consentono stime quantitative affidabili.

La fauna ittica risulta un indicatore efficace in risposta alle alterazioni fisiche dei corpi idrici, in particolare inerenti l'assetto idraulico e geomorfologico (FORNERIS *et al.*, 2005). Le comunità acquatiche risentono in generale di perturbazioni differenti da quelle che incidono sulle biocenosi terrestri: per questo motivo nelle esperienze condotte in Lombardia l'ittiofauna non viene considerata nell'ambito delle "componenti naturalistiche" ma viene associata alla valutazione delle risorse idriche.

La letteratura scientifica segnala che anche la comunità vegetale subisce alterazioni durante la fase di realizzazione e di esercizio di un'infrastruttura, seppur con tempi di risposta generalmente più lunghi e dipendenti dalla distanza (ANGOLD, 1997; HANSEN e CLEVINGER, 2005). Nel contesto del monitoraggio delle infrastrutture in corso di realizzazione in Lombardia la vegetazione rappresenta un indicatore fondamentale poiché fornisce una solida base di dati da sottoporre ad analisi spazio-temporale; l'im-

portanza della vegetazione naturale e seminaturale nel territorio in esame è riconducibile sia al ruolo funzionale e strutturale, sia alla presenza di elementi di rarità sottoposti a pressioni antropiche sempre crescenti.

Le comunità indicatrici –seppur indagate con metodiche speditive– dovrebbero fornire risultati quantitativamente rappresentativi che consentano di distinguere le variazioni naturali/casuali da quelle associabili all'impatto dell'opera. Dalle esperienze in essere in Lombardia, avifauna e vegetazione risultano le due componenti in grado di fornire le basi di dati più solide e pertanto si ritiene che esse dovrebbero essere sempre comprese in un piano di monitoraggio. Inoltre potrebbero essere considerate anche altre componenti, ma solo a fronte dell'intensificazione dello sforzo di campionamento.

Sarebbe opportuno, per le prospettive future, considerare l'utilizzo di comunità indicatrici appartenenti al gruppo degli Invertebrati. In particolare è presente un numero crescente di studi e protocolli di monitoraggio degli individui adulti dei taxa di Odonati e Lepidotteri, con riferimento alla loro risposta agli effetti delle infrastrutture (KETELAR e PLATE, 2001; RIES *et al.*, 2001; SAARINEN *et al.*, 2005; THOMAS, 2005; SOLUK *et al.*, 2011).

INDIVIDUAZIONE DELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO

Il posizionamento delle stazioni per il rilievo delle componenti naturalistiche è una fase particolarmente delicata in quanto la rete di monitoraggio –posta a una distanza dall'asse del tracciato tale da evidenziare gli effetti dovuti all'esercizio dell'infrastruttura senza subire alterazioni dirette dovute alla cantierizzazione– deve rappresentare:

- aree caratterizzate da elevato interesse faunistico-ambientale;
- aree vulnerabili, sensibili, oggetto di tutela;
- elementi della rete ecologica.

Nella pianura lombarda la criticità principale per il posizionamento delle stazioni è risultata essere l'individuazione di aree caratterizzate da scarsi elementi di pressione antropica preesistenti che fossero nel contempo poste a debita distanza dall'opera: infatti alcune stazioni già attive risultano purtroppo temporaneamente interferite dalle attività di cantiere, e quindi generano dati difficilmente elaborabili.

Perciò nella fase di condivisione dei piani di monitoraggio delle opere è di fondamentale importanza rispettare il seguente schema concettuale:

- stazioni per la valutazione della fase corso d'opera: devono essere situate a una distanza dai cantieri tale da consentire di effettuare rilievi per valutare l'impatto dei lavori in atto. La verifica delle ricadute sulle componenti naturalistiche deve avvenire mediante il confronto tra le misure *ante operam* e corso d'opera;
- stazioni per la valutazione della fase *post operam*: devono essere poste a una distanza tale dai cantieri dell'opera da essere soggette alle sole ricadute potenziali dovute all'esercizio dell'infrastruttura. La verifica deve avvenire mediante il confronto tra i rilievi *ante operam* e *post operam*;
- stazioni di controllo: svolgono il ruolo di controllo sperimentale e devono essere poste a distanza tale dall'infrastruttura e dai cantieri da non risentire teoricamente di alcuna ricaduta. In tali stazioni è necessario effettuare rilievi nelle fasi *ante operam*, *corso d'opera* e *post operam*; l'ubicazione d'elezione per tali stazioni è all'interno di aree naturali.

PRIME ANALISI E VALUTAZIONI DEI RISULTATI

Se affermare che la valutazione delle ricadute globali delle infrastrutture sulle componenti naturalistiche è finalizzata ad individuare l'insorgere di eventuali criticità sulle quali intervenire mediante opportune misure correttive risulta un'operazione molto semplice, nella realtà la fase analitico-valutativa si configura come un processo molto complesso: le misure naturalistiche sono infatti di per sé caratterizzate da una variabilità naturale che consiste essenzialmente nell'effetto cumulato di piccole/grandi cause inevitabili e incontrollabili.

L'esigenza di distinguere le variazioni casuali dalle variazioni significative richiede quindi l'impiego dei metodi dell'inferenza statistica.

ARPA Lombardia, come primo approccio al problema, ha deciso di analizzare l'avifauna diurna in quanto è risultata il bioindicatore quantitativamente più significativo nei contesti ambientali banalizzati indagati. Si è dunque proceduto a condurre un'analisi esplorativa dei dati relativi al monitoraggio della comunità ornitica del collegamento autostradale Brescia-Bergamo-Milano.

Sono stati impiegati dati riguardanti le specie ornitiche, rilevate in otto transetti di indagine disposti a differenti distanze dall'opera, nella fase di *ante operam* (2009) e durante il primo anno di corso d'opera (2010). La metodologia di rilievo in campo (BIBBY *et al.*, 1992) prevede di esaminare transetti lineari di circa 500 metri all'interno di ambienti eterogenei potenzialmente idonei: essi vengono percorsi lentamente a piedi nelle prime ore di luce identificando a vista e/o al canto le specie ornitiche. I censimenti vengono effettua-

ti nei periodi primaverile (marzo-maggio) ed estivo (giugno) nonché in quello invernale (dicembre); i primi due corrispondono rispettivamente al periodo di massima attività canora delle specie stanziali o migratrici a breve distanza e di quelle a lunga distanza e più tardive, il terzo al periodo di presenza di specie svernanti. Per ogni contatto vengono annotati la specie, il numero di individui per specie e l'attività nonché ogni altra informazione ritenuta utile ai fini del rilievo.

Per l'analisi statistica sono stati considerati due parametri indicatori di comunità: la ricchezza in specie e l'*evenness*, che tiene conto della ripartizione degli individui tra le specie (equiripartizione): la letteratura evidenzia infatti la capacità discriminatoria di tali indici in aree a diverso grado di urbanizzazione (PHIPPS, 2000).

I dati di ricchezza in specie *ante operam* (2009) e corso d'opera (2010) (46 osservazioni) sono stati analizzati mediante Analisi della Varianza (ANOVA) a due criteri, allo scopo di valutare l'effetto dei fattori "stagione" (primavera, estate, inverno) e "fase" (*ante operam*, corso d'opera) e della loro azione congiunta sulla ricchezza in specie medesima. Il test statistico ha evidenziato una differenza significativa tra stagioni e non tra le fasi; rimaneva tuttavia inspiegata una quota di variabilità troppo elevata (la devianza d'errore è infatti pari all'82% circa del totale). Tale constatazione ha portato a ritenere che, nel contesto analizzato, la ricchezza in specie non sia un parametro adeguato per rilevare variazioni della comunità ornitica indotte dall'attività antropica (Tab. II).

Anche i dati di equiripartizione sono stati analizzati mediante ANOVA: i risultati mostrano che l'indice di *evenness* relativo alla campagna primaverile differisce in

modo significativo da quello della campagna invernale, e che quest'ultimo differisce anche da quello della campagna estiva (Tab. III); il risultato più importante riguarda però l'andamento temporale dell'indice nelle tre stagioni: l'*evenness* della fase *ante operam* risulta infatti significativamente differente da quella del primo anno di corso d'opera (Fig. 3).

In entrambe le fasi l'indice di *evenness* diminuisce passando dalla stagione primaverile a quella invernale, ma nella fase di corso d'opera esso presenta un decremento molto più intenso nella stagione invernale, che coincide con il maggior stato di avanzamento della cantierizzazione. In particolare, nella comunità ornitica alcune specie tendono dunque ad assumere carattere di dominanza. Statisticamente, tale andamento decrescente esula dalla naturale variabilità temporale dell'indice e suggerisce l'ipotesi di un'interferenza da parte di fattori esterni, potenzialmente identificabili con i lavori di realizzazione dell'autostrada. La cantierizzazione autostradale rappresenta infatti il nuovo elemento di disturbo, fermo restando che in territori ad elevata

antropizzazione –come quello in esame– le comunità biologiche sono spesso soggette a molteplici pressioni antropiche.

Mentre la ricchezza in specie non sembra dunque rivelarsi adeguata per individuare le modificazioni della comunità ornitica, l'*evenness* sembra risultare più sensibile ed efficace per valutare effetti di disturbo potenzialmente imputabili ai lavori connessi alla realizzazione di un'infrastruttura. Pur considerando promettente la strada intrapresa, l'utilità generale dell'*evenness* quale elemen-

to di valutazione di variazioni critiche per le comunità monitorate dovrà essere riconfermata da ulteriori analisi basate su un set più ampio e differenziato di dati ornitici.

In prospettiva, gli sforzi per giungere alla valutazione degli effetti delle infrastrutture sulle componenti naturalistiche –in particolare di quelli legati all'esercizio dell'opera– andranno indirizzati verso la definizione di un indice sintetico, finalizzato innanzitutto ad esprimere un giudizio di qualità della stazione, e a definire un

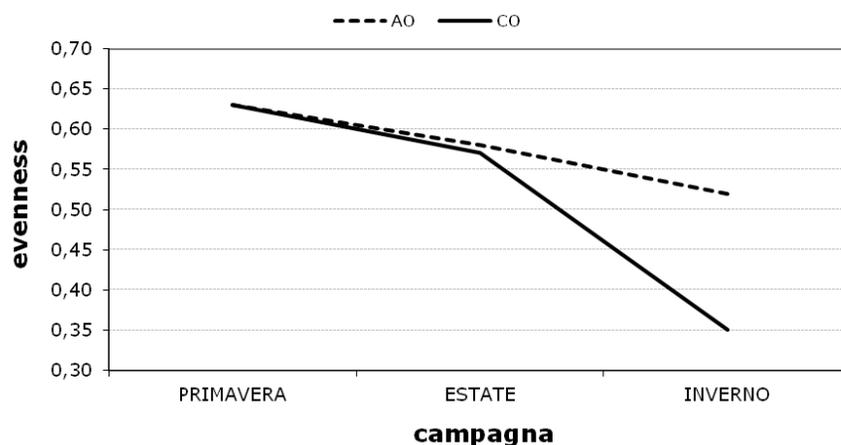


Fig. 3. Andamento temporale dell'indice di *evenness* ricavato dai dati ornitici relativi alle tre campagne stagionali di monitoraggio delle fasi *ante operam* (AO) e primo anno di corso d'opera (CO).

Tab. II. Indice di ricchezza in specie della comunità ornitica: risultati dell'ANOVA a due criteri.

SORGENTE	G.D.L.	DEVIANZA	VARIANZA	F	PROBABILITÀ
Campagna	2	972,7691	486,3846	3,46	0,040981
Fase	1	28,70397	28,70397	0,20	0,653616
Campagna*Fase	2	215,0371	107,5185	0,77	0,471691
Errore	40	5616,555	140,4139		
Devianza totale	45	6815,894			

Tab. III. Indice di *evenness* della comunità ornitica: risultati dell'ANOVA a due criteri.

SORGENTE	G.D.L.	DEVIANZA	VARIANZA	F	PROBABILITÀ
Campagna	2	0,29796	0,14898	33,52	0,000000
Fase	1	0,04383	0,04383	9,86	0,003166
Campagna*Fase	2	0,07507	0,03875	8,72	0,000719
Errore	40	0,17776	0,00444		
Devianza totale	45	0,60320			

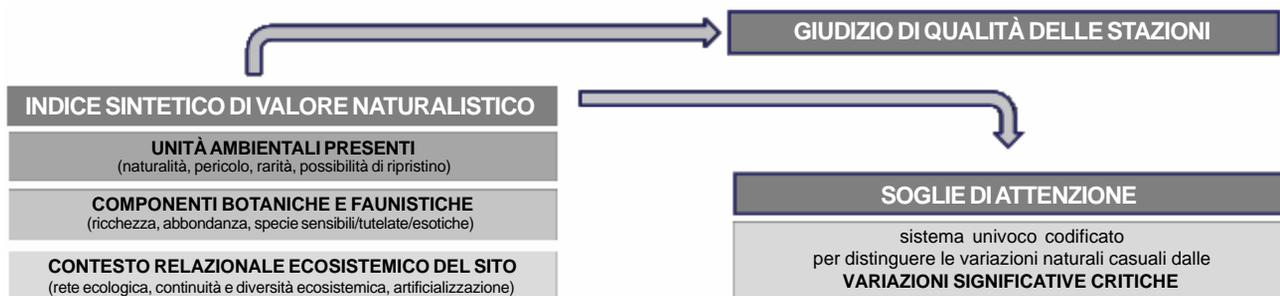


Fig. 4. Schema concettuale di sviluppo di un indice per rilevare variazioni ambientali critiche correlabili alle infrastrutture viarie.

sistema univoco e codificato di soglie di attenzione che permetta di distinguere le variazioni naturali casuali, da quelle significative critiche: tale indice dovrà accogliere non solo le diverse componenti botaniche e faunistiche rilevate ma anche una buona caratterizzazione territoriale locale (Fig. 4).

CONCLUSIONI

Le esperienze di monitoraggio finora svolte e i primi riscontri valutativi hanno fornito indicazioni utili in merito all'individuazione di stazioni di monitoraggio rappresentative, alla scelta di bioindicatori efficaci in ambienti ad alta antropizzazione e all'individuazione di

indici promettenti per la rilevazione di variazioni critiche delle comunità biologiche. Tali evidenze sono di supporto per la pianificazione delle future attività di monitoraggio e per l'implementazione di un indice sintetico di valore degli ecosistemi e di un sistema di soglie per la rilevazione di variazioni significative.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS A., 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Australian Journal of Zoology*, **26**: 130-141.
- ANDREWS K.M., GIBBONS J.W., JOCHIMSEN D.M., 2007. Ecological effects of roads on amphibians and reptiles: a literature review. In: Mitchell J.C. and Jung R.E. (eds.), *Urban Herpetology. Herpetological Conservation*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Salt Lake City **3**: 121-143.
- ANGOLD P.G., 1997. The impact of road upon adjacent heathland vegetation: effects on plant species composition. *Journal of Applied Ecology*, **34**: 409-17.
- BENÍTEZ-LÓPEZ A., ALKEMADE R., VERWEIJ P.A., 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: a meta-analysis. *Biological Conservation*, **143**:1307-1316.
- BLAUSTEIN A.R., KIESECKER J.M., 2002. Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters*, **5**: 597-608.
- BIBBY C.J., BURGESS N.D., HILL D.A., 1992. *Bird Census Techniques*. Academic Press, London.
- CLEVENGER A.P., HUIJSER M.P. (eds.), 2009. *Handbook for design and evaluation of wildlife crossing structures in North America*. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, 212 pp.
- COFFIN A.W., 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of Transportation Geography*, **15**: 396-406.
- EIGENBROD F., HECNAR S.J., FAHRIG L., 2009. Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society*, **14** (1): 24.
- FABIETTI V., GORI M., GUCCIONE M., MUSACCHIO M.C., NAZZINI L., RAGO G., 2011. *Frammentazione del territorio da infrastrutture lineari. Indirizzi e buone pratiche per la prevenzione e la mitigazione degli impatti*. Manuali e Linee Guida 76.1. ISPRA, Roma, 61 pp.
- FAHRIG L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, **34**: 487-515.
- FAHRIG L., RYTWINSKI T., 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, **14** (1): 21.
- FILA-MAURO E., MAFFIOTTI A., POMPILIO L., RIVELLA E., VIETTI D., 2005. *Fauna selvatica ed infrastrutture lineari*. Regione Piemonte, Torino, 91 pp.
- FORMAN R.T.T., ALEXANDER L.E., 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 207-232.
- FORMAN R.T.T., DEBLINGER R.D., 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology*, **14**: 36-46.
- FORMAN R.T.T., SPERLING D., BISSONETTE J.A., CLEVENGER A.P., CUTSHALL C.D.,

- DALE V.H., FAHRIG L., FRANCE R., GOLDMAN C.R., HEANUE K., JONES J.A., SWANSON F.J., TURRENTINE T., WINTER T.C. (eds.), 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, 483 pp.
- FORNERIS G., MERATI F., PASCALE M., PEROSINO G.C., 2005. Definizione della risposta del comparto ittico alle differenti tipologie di intervento in alveo. In *Ecologia*. Atti del XV Congresso nazionale della Società Italiana di Ecologia. (Torino, 12-14 settembre 2005) a cura di Claudio Comoglio, Elena Comino, e Francesca Bona: <http://www.xvcongresso.societaitalianaecologia.org/articles/Forneris-80.pdf>
- GLISTA D.J., DEVAULT T.L., DEWOODY J.A., 2008. Vertebrate road mortality predominately impacts amphibians. *Herpetological Conservation and Biology*, **3**: 77-87.
- HANSEN M.J., CLEVINGER A.P., 2005. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation*, **125**: 249-259.
- IUELL B., BEKKER G.J., CUPERUS R., DUFEK J., FRY G., HICKS C., HLAVÁČ V., KELLER V., ROSELL B., SANGWINE T., TØRSLOV N., WANDALL B.L.M., LA MAIRE B., (eds.), 2003. *COST 341 - Wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. KNNV Publishers, Brussels, 172 pp.
- JAEGER J.A.G., BOWMAN J., BRENNAN J., FAHRIG L., BERT D., BOUCHARD J., CHARBONNEAU N., FRANK K., GRUBER B., VON TOSCHANOWITZ K.T., 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, **185**: 329-348.
- JOCHIMSEN D.M., PETERSON C., ANDREWS K.M., GIBBONS J.W., 2004. *A Literature Review of the Effects of Roads on Amphibians and Reptiles and the measures used to minimize those effects*. Final Draft. Idaho Fish and Game Department USDA Forest Service, 79 pp.
- KETELAR R., PLATE C., 2001. *Manual Dutch Dragonfly monitoring Scheme*. Report VS2001.028, Dutch Butterfly Conservation, Wageningen, 28 pp.
- PHIPPS K.T., 2000. A summer survey of the birds at two eastern Nebraska wetlands. *Nebraska Bird Review*, **68** (1).
- PUKY M., 2006. Amphibian road kills: a global perspective. In Irwin C.L., Garrett P., Mcdermott K.P. (eds.), *Proceedings of the 2005. International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh: 325-338.
- REH W, SEITZ A., 1990. The influence of land use on the genetic structure of populations of the common frog *Rana temporaria*. *Biological Conservation*, **54**: 239-49.
- REINEN R., FOPPEN R., TER BRAAK C., THISSEN J., 1995. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity to main roads. *Journal of Applied Ecology*, **32**: 187-202.
- REINEN R., FOPPEN R., VEENBAAS G., 1997. Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and planning and managing road corridors. *Biodiversity and Conservation*, **6**: 567-581.
- RIES L., DEBINSKI D.M., WIELAND M.L., 2001. Conservation value of roadside prairie restoration to butterfly communities. *Conservation Biology*, **15**: 401-411.
- SAARINEN K., VALTONEN A., JANTUNEN J., SAARNIO S., 2005. Butterflies and diurnal moths along road verges: Does road type affect diversity and abundance? *Biological Conservation*, **123** (3): 403-412.
- SEILER A., 2001. Ecological effects of roads. A review. *Introductory Research Essay*, **9**: 1-40.
- SOLUK D.A., ZERCHER D.S., WORTHINGTON A.M., 2011. Influence of roadways on patterns of mortality and flight behavior of adult dragonflies near wetland areas. *Biological Conservation*, **144** (5): 1638-1643.
- SPELLERBERG I.F., 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography*, **7**: 317-333.
- STUART S.N., CHANSON J.S., COX N.A., YOUNG B.E., RODRIGUES A.S.L., FISCHMAN D.L., WALLER R.W., 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, **306**: 1783-1786.
- THOMAS J.A., 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, **360**: 339-357.
- TROCMÉ M., CAHILL S., DE VRIES J.G., FARRALL H., FOLKESON L., FRY G., HICKS C., PEYMEN J., 2003. *COST 341 - Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: the European review*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 253 pp.
- TROMBULAK S.C., FRISSELL C.A., 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, **14**: 18-30.
- TYSER R.W., WORLEY C.A., 1992. Alien flora in grasslands adjacent to road and trail corridors in Glacier National Park, Montana (U.S.A.). *Conservation Biology*, **6**: 253-262.