Integrazione di metodologie VAS e VIA in un Sistema Informativo Geografico.

Case study: la tangenziale ovest di Padova

GIORGIO AGUGIARO
GIUSEPPE SALEMI
PIERGIORGIO RIZZATO
VLADIMIRO ACHILLI

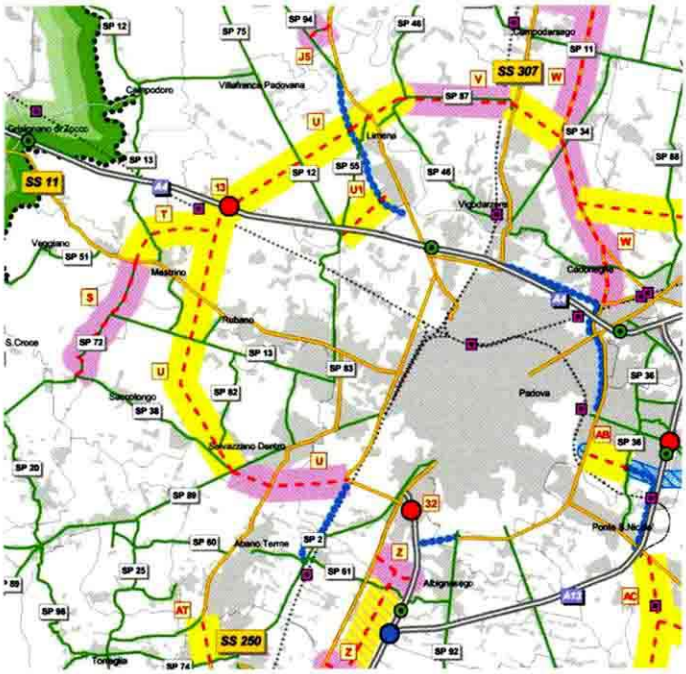

Fig. 1 - Area interessata dalla tangenziale ovest di Padova. Il tratto oggetto di questo studio riguarda i segmenti denominati U.

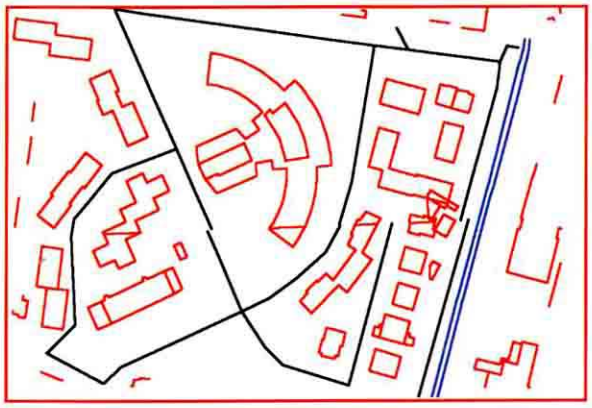

Fig. 2 - Esempio di zona di giunzione tra tavolette CTR. Sono presenti degli errori tra elementi appartenenti alla rete stradale secondaria.

In questo lavoro si descrivono le modalità di sviluppo ed integrazione in un GIS di alcuni degli strumenti utilizzati nelle valutazioni ambientali, siano esse strategiche (VAS) o di stima degli impatti (VIA).

Come ambito applicativo è stata scelta una proposta progettuale contenuta nel Piano Provinciale della Viabilità, presentato alla Provincia di Padova nel 2001. Il progetto propone il completamento dell'anello di tangenziali di Padova mediante la costruzione di un tratto di circonvallazione che attraversi i comuni della cintura urbana occidentale. Il Piano Provinciale di Viabilità ha tuttavia previsto la necessità di tale opera solo in termini di pianificazione dei flussi veicolari, ma non individua ancora chiaramente l'effettivo tracciato. In Figura 1 si può vedere l'area interessata dalla proposta di piano.

Per questo motivo, il presente lavoro si è concentrato sullo sviluppo di metodi integrati in un GIS che permettessero di giungere alla definizione di un tracciato stradale, cercando di introdurre già nella fase di progettazione consi-

Fig. 3 - Mappa raster ottenuta dalla sovrapposizione dei layer della CTR, dopo la creazione delle zone di buffer.

derazioni di tipo ambientale, allo scopo di simulare e stimare, fin dall'inizio, eventuali impatti sull'uomo e sull'ambiente.
L'articolo presenta innanzitutto gli strumenti utilizzati ed alcune tecniche sviluppate per creare la base di dati. Successivamente, vengono presentate la metodologia adottata e le fasi operative in cui è stato strutturato il lavoro; infine, le conclusioni.

Strumenti utilizzati e base di dati

La scelta di utilizzare un Sistema Informativo Geografico come strumento principale è risultata quasi obbligata, sia per il tipo di progetto e le dimensioni dell'area di studio (circa 13x19 km), sia per la complessità in termini di quantità ed eterogeneità dei dati. In particolare, si è deciso di utilizzare il programma GRASS GIS 5.0 (versione per Linux).
GRASS è un programma che si contraddistingue per essere uno strumento *open* e che offre quasi 400 funzioni diverse (dette moduli) per compiere operazioni sia su file raster (anche tridimensionali) che vettoriali. La sua struttura modulare si presta inoltre ad una gestione abbastanza semplice dei file script.
La creazione della base di dati necessaria ha comportato la raccolta, il controllo e l'omogeneizzazione di dati geografici georeferenziati provenienti da fonti diverse. I dati sono stati messi a disposizione dall'*Assessorato per Ambiente – Tutela Ambiente – Cave – Parchi e Riserve naturali – Viabilità – Trasporti eccezionali* della Provincia di Padova e consistono di:

- Carta Tecnica Regionale Numerica in formato .DXF (24 tavolette);
- Carte tematiche varie (geomorfologia, geopedologia, uso del suolo, zone soggette a vincolo, rischio idraulico) in formato .SHP di Esri Arcview.

Tutte le carte tematiche sono state importate in GRASS.

In particolare, nel caso delle tavolette CTR, si è passati dai 300 layer presenti in ogni file .DXF a soli 8, dopo un processo di scelta e di compattazione degli stessi. Ogni macro-tematismo all'interno di una tavola CTR (edificato, rete viaria, rete idrografica, ecc.) comprende infatti "pacchetti" di layer, nei quali sono rappresentati i suoi diversi elementi costitutivi. Il livello di suddivisione è dunque molto elevato e rende poco significativa la consultazione per singolo layer. Si è allora deciso di considerare solamente alcuni macro-tematismi e di concentrarli ciascuno su un unico layer. Tutti gli altri layer sono stati eliminati perché ritenuti non necessari ai fini del presente lavoro. Si sono così ottenuti i seguenti layer:

- edificato industriale,
- edificato (restante)
- fiumi e corsi d'acqua principali
- reticolo idrografico secondario
- rete viaria principale (autostrade, SS)
- rete viaria secondaria
- rete ferroviaria
- punti quota.

Le 24 tavolette utilizzate sono state poi mosaicate e, nel caso dei punti quota, è stato possibile ottenere un DTM. L'operazione di unione è stata eseguita in Autocad, a livello di file .DXF, prima dell'importazione in GRASS. Il controllo della continuità è stato svolto visivamente, con l'aiuto delle funzioni di zoom presenti nel programma (Figura 2). E' emerso che:

- la giunzione tra elementi appartenenti all'edificato, alla rete viaria principale ed al reticolo idrografico principale è risultata essere priva di errori;
- la giunzione tra gli elementi restanti ha presentato, a volte, degli errori che si è ritenuto di poter trascurare, poiché tali errori/scostamenti vengono successivamente resi trascurabili dalla creazione di zone di buffer.

Nella CTR così ottenuta, gli elementi lineari (vettoriali) sono stati importati in GRASS, trasformati in elementi 2D mediante la creazione di zone di buffer e sovrapposti (Figura 3).
L'importazione in GRASS dei dati in formato .SHP di Esri Arcview è stata più agevole e ha comportato la creazione di file raster, ciascuno relativo alla carta tematica corrispondente.
Per tutte le mappe create è stata scelta una risoluzione di griglia di 10 m, che è risultata essere un buon compromesso tra livello di risoluzione e potenza di calcolo richiesta.

Metodologia adottata fasi operative

Per garantire un approccio olistico allo studio, si è fatto ricorso all'Ecologia del paesaggio (*Landscape ecology*), che cerca di interpretare la complessità ecologica con il contributo di discipline diverse. Secondo questo approccio, il paesaggio può essere definito come un mosaico di "patch" di dimensioni rilevanti per il fenomeno considerato o per l'organismo selezionato. Una patch è semplicemente uno spazio delimitato da strutture (acqua, vegetazione, edificato, ecc.), oppure da processi (ecologici, geopedologici, antropici).
Con questo tipo di approccio si è messo in risalto il concetto di barriera e ciò ha portato ad una rappresentazione del territorio (chiamata *matrice delle barriere*) in cui si sono evidenziati gli ostacoli in esso presenti. Nel caso presente, si sono distinte due classi di patch: gli invarianti, intesi come barriere al passaggio della strada, e la matrice, composta da tutte le altre patch.
E' stato necessario, pertanto, creare un sistema di regole o criteri per assegnare le patch alle due classi e per quantificarne il valore in termini di barriera.

Identificazione dei criteri e matrice delle barriere

Assegnare opportuni pesi ai vari elementi contenuti in ogni carta tematica significa poter discriminare un'area in relazione del valore che le è stato assegnato. Se ad ogni peso viene associato un significato di "utilità" (o meglio, di "disutilità"), definire questi valori permette di identificare zone più o meno adatte al tracciato della strada, qualora i criteri di assegnazione dei pesi vengano scelti con questo obiettivo.
La creazione di un sistema di regole è avvenuta per passi successivi. Considerati l'eterogeneità ed il numero di layer e di patch contenuti in ciascuno di essi, si è deciso di adottare criteri semplici, utilizzabili per tutti i layer e idonei, comunque, a giungere alla misurazione dell'utilità. I criteri sono diventati domande alle quali rispondere sì o no. Associando a "sì" il valore 1 e a "no" il valore 0, si è giunti ad un indicatore di utilità.
Si sono seguiti a questo punto due metodi: nel primo, si è formulato un solo cri-

terio, che, a fronte di una forte semplificazione del modello, ha permesso di stabilire in modo immediato l'utilità di un elemento all'interno di un layer. Nel secondo, si è scelto di perfezionare il sistema di regole, adottando più criteri e cercando di affinare la tecnica di assegnazione dei pesi agli elementi dei layer.

Il criterio adottato nel primo metodo è stato: "*L'elemento costituisce barriera in senso stretto o lato per la costruzione della strada?*". Quest'approccio booleano, applicato a tutte le mappe tematiche, ha prodotto mappe binarie; un esempio è presentato in Tabella 1 e Figura 4. La somma di tutte le mappe binarie ottenute ha generato la matrice delle barriere, rappresentata in Figura 5.

Tab. 1 *- Esempio di assegnazione dei pesi alle patch di questa carta tematica (uso del suolo).*

Carta dell'uso del suolo	Barriera?	Valore
Seminativi non irrigui	No	1
Aree Urbane	Si	0
Aree industriali	Si	0
Boschi di latifoglie	Si	0
Fiumi-canali-idrovie	Si	0
... ...	...	...

Calcolo di tracciati

Al concetto di barriera è stato associato quello di *costo di attraversamento*, cioè a valori di barriera maggiori corrispondono costi di attraversamento maggiori. L'idea di base è che il tracciato migliore tra due punti sia quello che minimizza il costo complessivo di attraversamento e, per identificarlo, è stato utilizzato il modello cost-drain.

Conviene a questo punto fare un esempio. In Figura 5 è rappresentata tridimensionalmente la matrice delle barriere. Come si può vedere, zone a valore di barriera maggiore sono rappresentate a quota più elevata. Si prendano gli estremi di un tracciato, nel caso Mestrino e Limena: il modello cost calcola, a partire dalla matrice delle barriere, la *matrice dei costi cumulativi* per spostarsi in tutte le direzioni dal punto di partenza, Mestrino. L'algoritmo prosegue fino a raggiungere la destinazione, Limena. Il risultato è rappresentato in Figura 6. Qui si può vedere che il costo complessivo di attraversamento è minimo nel punto di partenza e cresce man mano che ci si allontana da Metrino. La matrice dei costi cumulativi può essere a sua volta rappresentata come un DTM. In questo caso, Mestrino sarà rappresentato come punto a "quota" minore, mentre Limena si troverà sul bordo, a "quota" maggiore.

A questo punto, il modulo drain inverte i punti di partenza e di arrivo e calcola il percorso di minimo costo, che corrisponde a quello a maggiore pendenza (che quindi va in discesa da Limena a Mestrino). Tale percorso è rappresentato in Figura 7.

La procedura fin qui esemplificata non tiene tuttavia conto di nessun vincolo relativo alla rete viaria esistente in termini di funzionalità. Per questo motivo, oltre ai punti di inizio e fine (Limena, curva Boston), sono stati assegnati ulteriori vincoli, a Mestrino e a Selvazzano. Un tracciato di tangenziale diventa quindi l'unione di tre tratti calcolati col modello cost/drain.

Per valicare il metodo, è stato calcolato anche un tracciato di ritorno, invertendo, tratto per tratto, gli estremi. Come si può vedere in Figura 8, i due tracciati non corrispondono necessariamente, ma presentano un andamento molto simile. D'altra parte, il tentativo di aumentare il grado di libertà del sistema riducendo i vincoli, non ha avuto esito positivo. Come si può vedere per esempio in Figura 9, la rimozione di uno o più punti di vincolo ha generato un tracciato di tangenziale non accettabile.

Per valicare, inoltre, la stabilità del sistema, è stata effettuata un'analisi di sensibilità, variando la matrice delle barriere, variando cioè i pesi delle mappe binarie che la costituiscono. Le mappe binarie

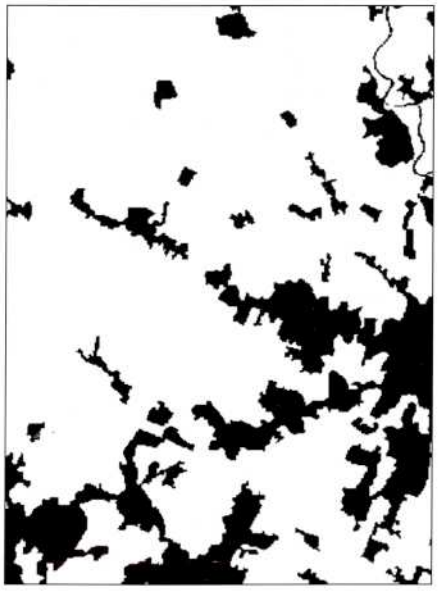

Fig. 4 *- Esempio di mappa binaria ottenuta con l'assegnazione dei pesi alle patch.*

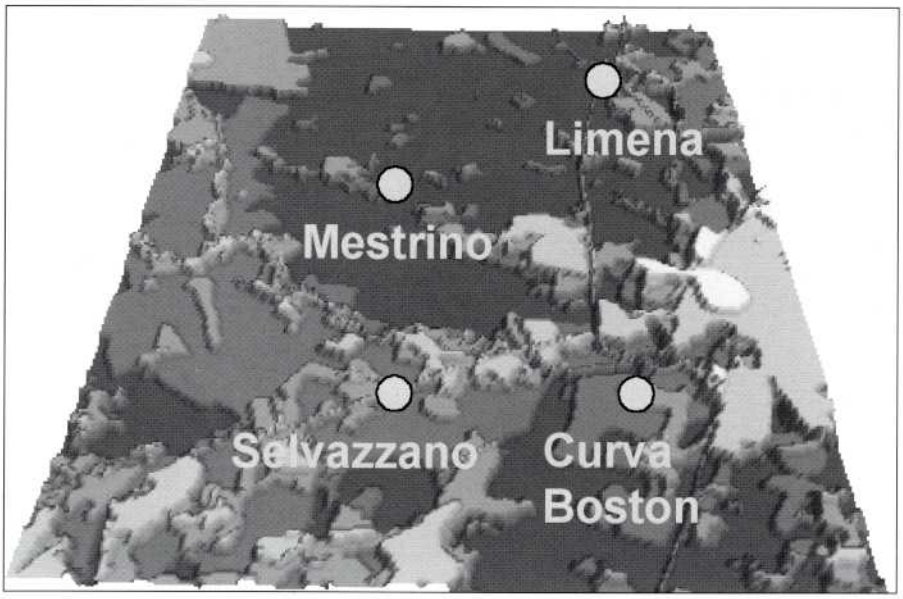

Fig. 5 *- Esempio di rappresentazione tridimensionale di una matrice delle barriere. Maggiore è il valore di barriera, maggiore è la "quota". Sono riportati anche i punti di vincolo necessari per garantire la funzionalità dell'opera rispetto alla viabilità esistente.*

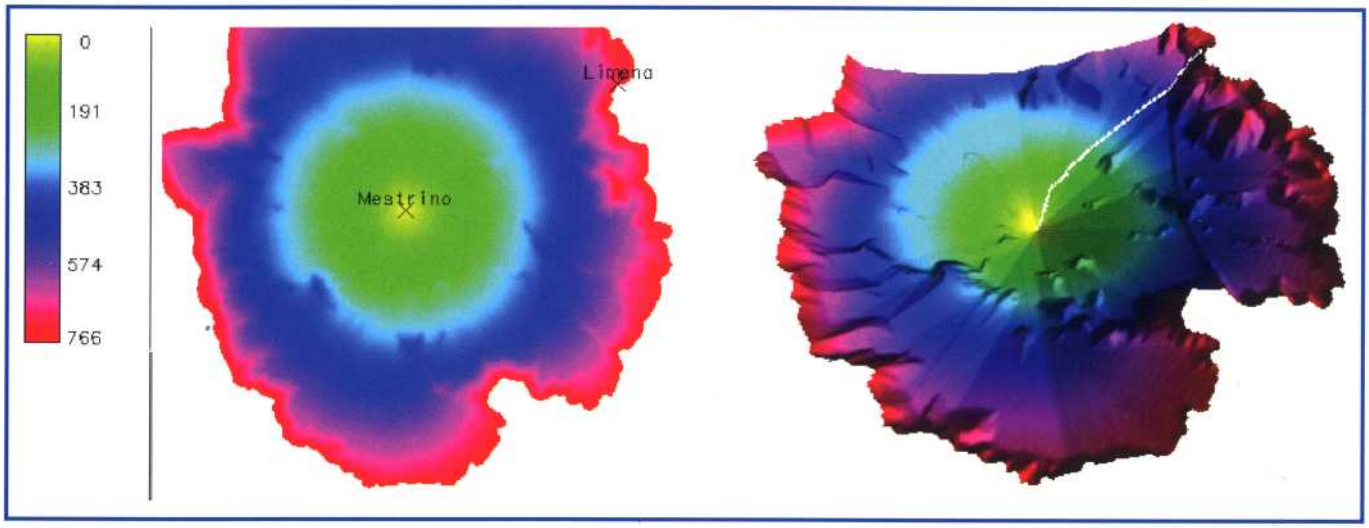

Fig. 6 - Esempio di matrice dei costi cumulativi tra Mestrino e Limena. A Mestrino corrisponde il costo minimo (0), a Limena il costo massimo (766).

Fig. 7 - Esempio di rappresentazione 3D della matrice dei costi cumulativi. Indicato in bianco è il percorso di minimo costo tra Limena e Mestrino. Limena si trova sul bordo della superficie; Mestrino al centro, nel punto più basso.

non sono state semplicemente sommate, ma ne è stata effettuata una somma pesata, assegnando di volta in volta peso 10 ad una mappa e peso 1 alle altre. Sovrapponendo i diversi tracciati ottenuti in questo modo, abbiamo ottenuto il polifuso mostrato in Figura 10 (sovrapposizione di 10 tracciati). Il polifuso evidenzia un corridoio di possibili tracciati abbastanza stretto. Questo è dovuto sicuramente alla configurazione del territorio, già di per sé molto vincolata, ma in parte è attribuibile alle forti semplificazioni introdotte nella costruzione della funzione di utilità per la matrice delle barriere. Come già accennato, il passo successivo per aumentare la sensibilità del sistema è stato quello di affinare il metodo per quantificare il valore di barriera delle patch, mantenendo tuttavia le domande cui rispondere sì/no. I criteri sono diventati quattro, in modo da distinguere le barriere in:

- barriere fisiche
- antropiche
- normative

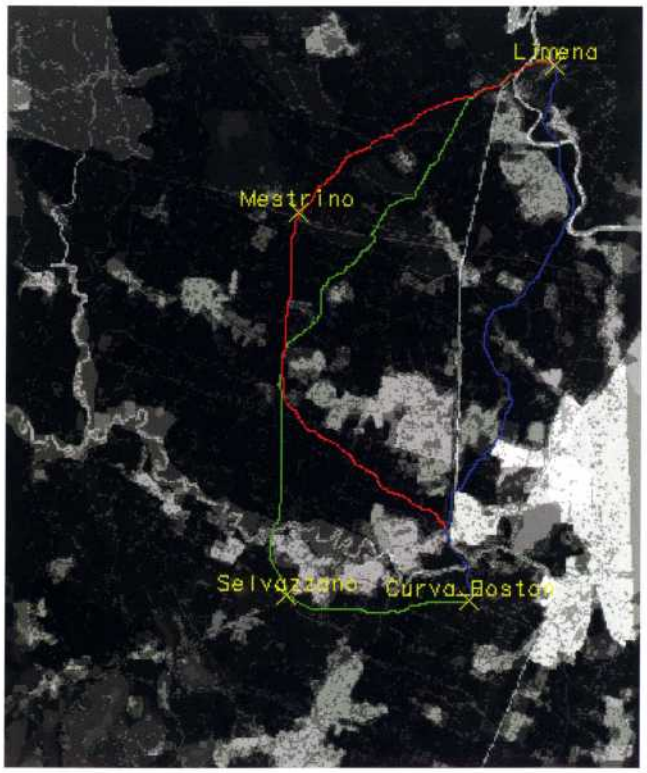

Fig. 8 - Esempio di tracciati ottenuti dalla somma dei tratti calcolati tra la curva Boston e Selvazzano, tra Selvazzano e Mestrino e tra Mestrino e Limena, sia in "andata" (blu) che in "ritorno" (rosso). Sullo sfondo è rappresentata la matrice delle barriere.

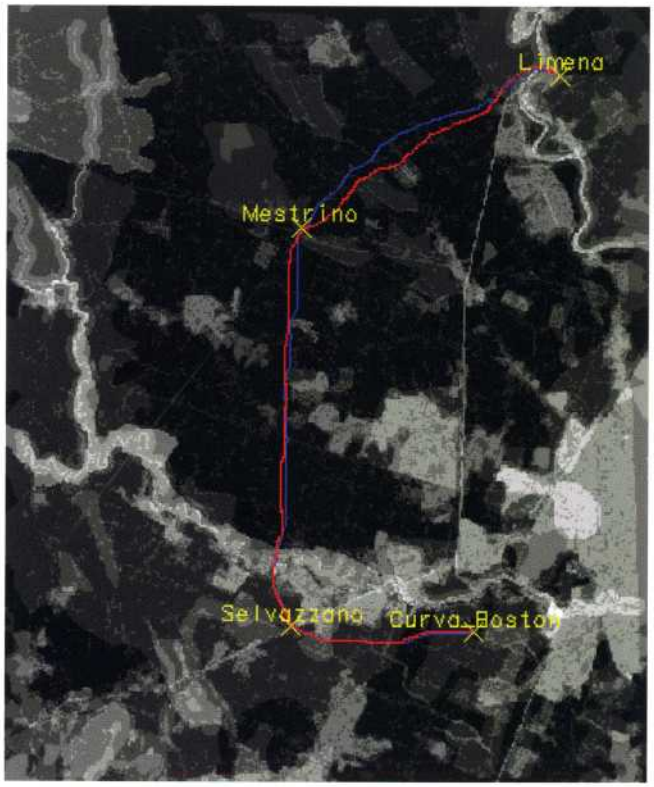

Fig. 9 - Tracciati della strada ottenuti sopprimendo di volta in volta uno o più vincoli.

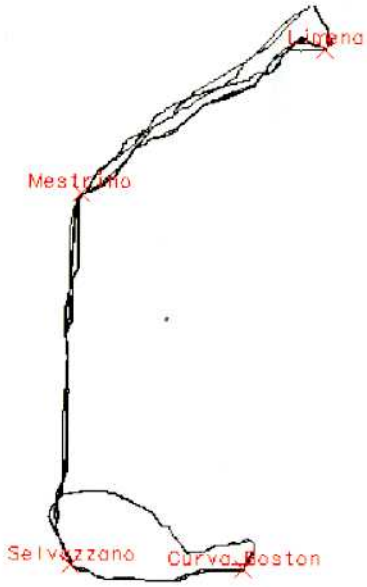

Fig. 10 - Il polifuso ottenuto col primo metodo ad un solo criterio.

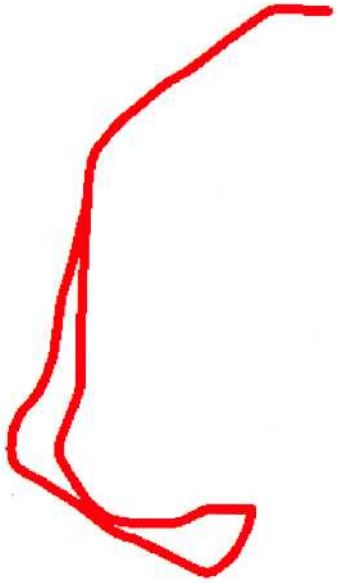

Fig. 11 - Esempio di mappa ottenuta con l'assegnazione dei pesi alle patch mediante il metodo a più criteri.

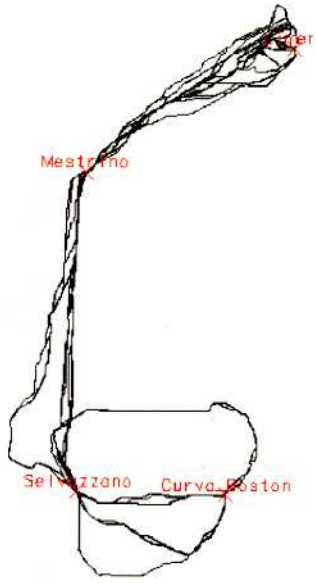

Fig. 12 - Il polifuso ottenuto col metodo a più criteri.

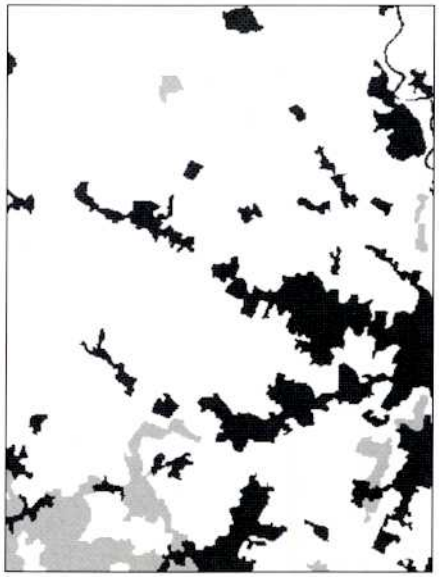

Fig. 13 - Particolare della mappa ottenuta mediante operazione di somma di tutti i tracciati del polifuso.

- naturalistiche (cioè riferite a zone non direttamente vincolate, ma ugualmente di particolare valore ambientale).

Un esempio è riportato in Tabella 2 ed in Figura 11.

L'introduzione di più criteri rende possibile la simulazione di scenari diversi, poiché permette al pianificatore di ottimizzare il processo decisionale.

All'approccio "tecnico" (criterio 1) vengono affiancati quello "politico" (criterio 2), "normativo" (criterio 3) ed "ambientale" (criterio 4), nonostante la linea di demarcazione non sia netta tra i vari ambiti. Si tratta certamente di un metodo semplificato che cerca, tuttavia, di supe-

Fig. 14 - Rappresentazione tridimensionale della somma dei tracciati.

Fig. 15 - Il polifuso finale, ottenuto dopo l'operazione di query. I 5 archi sono ottenuti congiungendo mediante una spezzata i punti migliori selezionati con l'operazione di query.

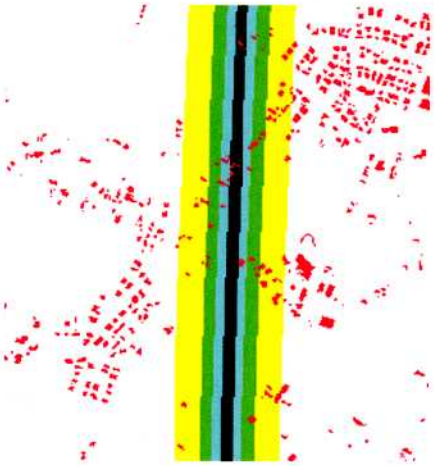

Fig. 16 - Il calcolo dell'impatto dovuto al rumore è stato effettuato mediante somma pesata del numero di edifici ricadenti all'interno di ciascuna fascia (azzurro-verde-giallo).

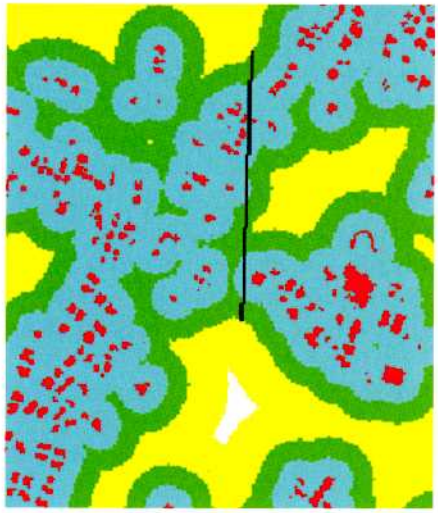

Fig. 17 - Stima della lunghezza dei tratti di strada in cui costruire barriere acustiche.

Tab. 2 - Esempio di assegnazione dei pesi alle patch di una carta tematica (uso del suolo).

Carta delluso del suolo	Criterio 1		Criterio 2		Criterio 3		Criterio 4	
Seminativi non irrigui	No	1	No	1	No	1	No	1
Aree urbane	Si	0	Si	0	Si	0	No	1
Sistemi colturali complessi	No	1	No	1	No	1	Si	0
Aree industriali	Si	0	Si	0	Si	0	No	1
Boschi di latifoglie	No	1	No	1	No	1	Si	0

rare la limitatezza dell'analisi ad un unico criterio. Il valore di utilità per le patch all'interno di una mappa è stato ottenuto inizialmente come semplice somma dei valori ottenuti per ogni criterio.
In seguito, l'analisi di sensibilità descritta precedentamente è stata incrociata con quella sui 4 criteri, ottenendo un polifuso dalla sovrapposizione di 50 tracciati (Figura 12).
Questo secondo metodo a più criteri rappresenta un raffinamento del precedente e, sulla base dei risultati ottenuti, ha permesso di ottenere un polifuso più ampio, a dimostrazione della capacità del sistema di fornire più risposte alternative alle diverse sollecitazioni. Per questo motivo, i risultati di questo metodo sono stati scelti per essere utilizzati nella fase successiva.

Somma dei tracciati del polifuso

L'operazione di somma dei tracciati del polifuso ha messo in evidenza le aree in comune. In queste rappresentazioni della stessa mappa (Figura 13 e Figura 14), i punti più scuri o più "elevati" indicano zone migliori, perché ottimizzano più set di parametri contemporaneamente.
Al fine di identificare il tracciato finale, l'esecuzione di una query su questa mappa permette di selezionare i punti migliori che superano una certa soglia. D'altra parte, abbassare il valore di soglia consente di infittire i punti e di far comparire delle alternative al tracciato.
Si è scelto di abbassare la soglia fino ad ottenere 5 archi di tracciato, che, combinati tra loro, hanno dato origine a 4 strade alternative, come mostrato in Figura 15.
Va ricordato che i 4 possibili tracciati identificati sono stati ottenuti mediante una spezzata congiungente un numero sufficientemente elevato di punti che soddisfano più criteri possibili, ma che sono da considerarsi più realisticamente come un insieme di punti costituenti l'asse di "simmetria" di un corridoio, all'interno del quale vi è una distribuzione spaziale più o meno fitta di zone adatte al passaggio della strada.

Scelta del tracciato migliore

In questa fase del lavoro è stato affrontato il problema di stabilire quale dei 4 possibili tracciati fosse il migliore. Lo studio è stato condotto calcolando degli indici che quantificassero i possibili impatti sulle varie componenti ambientali (suolo, atmosfera, paesaggio, uomo, ecc.).
Si è scelto di calcolare la maggior parte degli indici con la "tecnica del buffer", che bene si adatta ad elementi lineari, come le strade.
Questa tecnica, in generale, assegna un peso all'elemento "impattato" in modo proporzionale alla sua vicinanza all'elemento "impattante". La tecnica è stata via via adattata in funzione delle necessità specifiche.
Il primo indice è stato ottenuto standardizzando rispetto al minimo le lunghezze dei quattro tracciati.
Il secondo indice indaga, invece, sul valore dei suoli intercettati da ogni strada.
Sono state considerate solo 3 tipologie di uso del suolo (edificato residenziale, edificato industriale, seminativi) e, dopo aver misurato l'estensione delle aree intercettate dalla strada, ne è stato ottenuto il valore complessivo.
In modo analogo sono stati calcolati gli indici per il paesaggio ed il rischio idraulico.
Nel primo caso si sono misurate le aree soggette a vincolo paesaggistico e monumentale ricadenti in un buffer di 150 metri. Nel secondo caso si sono calcolate la aree soggette a vincolo intercettate dalla strada
Per quanto riguarda il rumore, dapprima è stato studiato l'andamento del livello di pressione sonora totale in funzione della distanza, sulla base delle stime del traffico atteso nel 2010 (3000 veicoli/ora). Poi, in base alla normativa vigente, sono state create 3 fasce ed il valore di impatto è stato calcolato come somma pesata del numero di edifici destinati a residenziale ricadenti in ogni fascia. Ovviamente, l'utilizzo di un GIS ha permesso di automatizzare le procedure sopradescritte.
Invertendo il punto di vista e creando le fasce a partire dagli edifici, è stata effettuata una stima della lunghezza dei tratti di strada lungo i quali costruire barriere acustiche. Questa è stata ottenuta sovrapponendo la strada alla mappa precedentemente creata e identificando i tratti che rientrano nel buffer stabilito.
In questo caso è stata scelta la seconda fascia.
Per quanto riguarda l'impatto causato dalle emissioni dei gas di scarico, è stata eseguita una simulazione con gli ossidi di azoto. E' stato utilizzato un modello di dispersione gaussiano reperibile presso il sito dell'Agenzia per la Protezione Ambientale statunitense (EPA).
Per il calcolo al suolo delle concentrazioni nel caso peggiore si sono supposte condizioni di stabilità atmosferica, oltre alla stima delle emissioni. I risultati sono stati poi importati in GRASS. Anche qui, sono state create delle fasce in base alla normativa vigente e l'indice di impatto è stato calcolato in modo analogo al caso del rumore.
Per quanto riguarda l'impatto sull'ecosistema, si è scelto di utilizzare la biopotenzialità territoriale (BTC), parametro in grado di esprimere sia l'efficienza energetica che quella entropica del sistema ambientale. E' necessario suddividere il territorio in unità (ecotipi), ai quali è associato un valore di BTC che è tanto maggiore quanto maggiore è il grado di "naturalità" del sistema. Il calcolo della BTC consiste nell'ottenere la media pesata sulle aree dei valori degli ecotipi.
Operativamente, è stato necessario pri-

ma creare una carta ecosistemica per simulare gli scenari ante e post operam, dopodiché è stata studiata la funzione BTC totale in funzione delle dimensioni del buffer.
Il grafico (Figura 18), mostra che il disturbo causato dalla strada viene riassorbito in funzione delle dimensioni del buffer.
In base a questi risultati, si è scelto di considerare un buffer di 250 metri e di calcolare, dalla variazione di BTC così ottenuto, l'ultimo indice di impatto.
Le analisi settoriali condotte hanno richiesto una fase di ponderazione ed aggregazione per giungere ad un risultato finale che consentisse di individuare l'alternativa, cioè il tracciato, migliore.
Per questo motivo, sono stati considerati più scenari, in cui è stata data precedenza rispettivamente alla salute umana, all'ambiente ed a costi/funzionalità dell'opera.
In base ai risultati ottenuti da questa simulazione, il tracciato mostrato in Figura 19 è risultato quello migliore in tutti gli scenari ipotizzati.

Conclusioni

Per concludere, partendo da un approccio su grande scala, si è riusciti ad integrare aspetti diversi (compresi quelli ambientali) riguardanti lo stesso territorio, caratteristica sempre più importante nell'ottica della cosiddetta progettazione integrata.
Se da una parte le approssimazioni introdotte sono rilevanti (sia per la limitatezza dei dati disponibili che per la loro qualità), dall'altra bisogna ricordare che

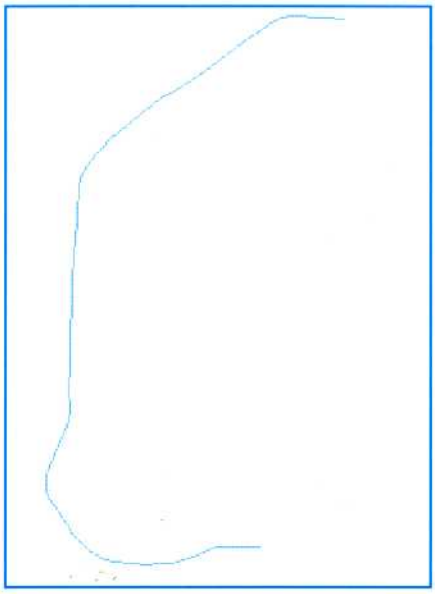

Fig. 19 - Il tracciato di tangenziale migliore.

uno dei punti di forza di questo metodo è di essere aperto. Si può aumentare, per esempio, il numero di carte tematiche considerate (e di conseguenza la bontà dei risultati ottenuti), senza che ciò comporti un forte cambiamento nel procedimento di calcolo.
Per quanto riguarda la seconda fase, questa si pone come diretta prosecuzione della prima.
La tecnica del "buffer" si è dimostrata semplice e duttile, ha permesso di analizzare aspetti eterogenei e di giungere mediante il calcolo di indici sintetici, ad un risultato che, tra l'altro, conferma le indicazioni fornite dalla fase 1. Questo studio vuole quindi porsi come esempio di supporto alla progettazione preliminare: il lavoro del progettista si arricchisce così di uno strumento in grado di supportare numericamente scelte e decisioni.

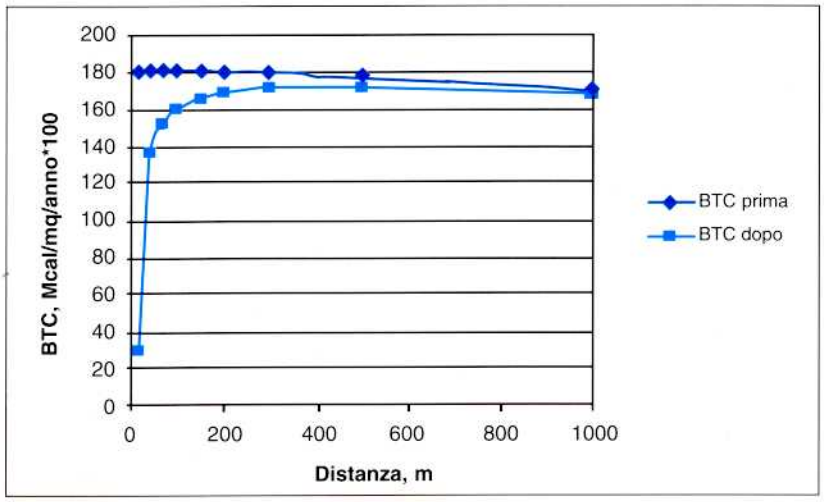

Fig. 18 - Andamento della funzione BTC al crescere delle dimensioni del buffer. Scenari ante e post operam.

Bibliografia

R. VISMARA – *Protezione ambientale; Criteri e tecniche per la pianificazione territoriale* – Esselibri S.p.A., Napoli, 2001
A. FARINA – *Ecologia del paesaggio; Principi, metodi e applicazioni*; UTET Libreria s.r.l., 2001
A. CECCHINI, F. FULICI – *La valutazione di impatto urbano* – Franco Angeli s.r.l., Milano, 1994
A. ADAMI – *Appunti del corso di ingegneria del territorio* – Università di Padova, 2002
R. LAZZARIS, M. STRADA – *Elementi di acustica tecnica* – CLEUP, 1996
G. CASONI, P. POLIDORI – *Economia dell'ambiente e metodi di valutazione* – Carocci editore S.p.A., Roma, 2002
J.T. HOUGHTON – *The Physics of the atmosphere* – Cambridge University Press, New York, 1986
F. PASQUILL – *Atmosferic diffusion. 2nd edition* – Ellis Horwood Limited, London, 1974
D. PULSAR – *Map algebra and neighborhood functions* – The University of Queensland, Brisbane, 2001
M. NETELER – *Grass 5.0 Programmer's manual* – GRASS Development team, 2002
O. DASSAU, S. HESS – *Einführung in das geographische Informationssystem GRASS; Skript zum Kurs der Anwender-Vereinigung* – G.A.V. e.V., Mainz-Hannover, 2002
W. L. BAKER – *The r.le programs. A set of GRASS programs for the quantitative analysis of landscape structure* – University of Wyoming, Laramie, 2001

Autori

GIORGIO AGUGIARO
GIUSEPPE SALEMI
PIERGIORGIO RIZZATO
VLADIMIRO ACHILLI
Università di Padova
Dip. Architettura Urbanistica e Rilevamento