

Semplificazioni e attuazione della modellistica ambientale nella pianificazione territoriale

Alberto Pistocchi[°], Fulvio Ciancabilla[°]

Nel più recente quadro della pianificazione fisica in Italia (quello definito dalla legge 183/1989 sulla difesa del suolo, dalla 'legge Galli', n. 36/1994, dal 'decreto Ronchi', D.Lgs.22/97 e dal D.Lgs. 152/99), assume sempre maggiore rilevanza la conoscenza quantitativa e la capacità previsionale sui fenomeni ambientali. Si sta assistendo, per esempio, a una domanda crescente di analisi quantitative nella valutazione di impatto ambientale e nell'analisi di rischio, che tendono a far assomigliare questi settori ad ambiti ingegneristici più tradizionali dove si compiono verifiche quantitative di *routine* dei sistemi oggetto di studio. Le istanze di elevata protezione dell'ambiente recepite dalla normativa recente invocano una capacità di controllo dell'ecosistema, che parte necessariamente dalla sua conoscenza e dalla prevedibilità degli effetti delle azioni umane sulle georisorse.

Già da tempo alcune tradizioni culturali dell'Occidente (e in particolare quella della gestione ambientale statunitense e canadese) hanno prodotto paradigmi, strumenti e condizioni operative per queste analisi, e oggi si ha una enorme disponibilità di software che consentirebbe la simulazione di situazioni e processi virtualmente di ogni complessità. Si trovano software commerciali, dotati di avvincenti interfacce grafiche, che producono simulazioni matematiche con estrema facilità. Spesso però non si considera che anche i più semplici, fra i modelli matematici maggiormente noti, sono troppo complessi e richiedono troppi dati per l'uso in situazioni ordinarie; sono inoltre 'rigidi' e difficilmente adattabili alle esigenze particolari che emergono in ogni caso di studio, e poco trasparenti all'utente circa le diverse fasi del calcolo.

D'altra parte, si può dire che molte delle procedure di modellazione di pratica utilità possono essere facilmente implementate con strumenti di calcolo più flessibili, che consentono all'utente di mantenere un controllo pressoché totale su di esse. L'obiettivo di questo lavoro è semplicemente di illustrare le limitazioni, e gli usi 'quotidiani' possibili, della modellistica ambientale che può essere attuata con quest'ultima categoria di strumenti. L'importanza di un pieno controllo delle operazioni compiute da parte dell'analista non impone più una programmazione specialistica, dal momento che esistono molti ambienti di calcolo di alto livello sempre più diffusi e *user friendly* (es MatLab[®], Mathworks, 1998; Excel[®], Microsoft, 1997) nei quali sono disponibili funzioni *general purpose* e si possono implementare con facilità i calcoli correntemente utilizzati negli studi ambientali. Inoltre, si vuole richiamare l'importanza di visualizzatori di superfici continue, sia calcolate sia interpolate, come strumenti di modellistica di *screening* (ad es. Surfer[®], 1997; GNUplot[®], 1996). Molte soluzioni analitiche a problemi bidimensionali (fra cui l'utilissima soluzione gaussiana dell'equazione diffusivo-avvettiva, usata sia per l'inquinamento delle falde, sia per quello atmosferico da sorgenti *point*) possono infatti essere identificate attraverso questi strumenti.

La possibilità di creare semplici modelli 'personalizzati' potrebbe portare ad un uso veramente generalizzato delle previsioni degli impatti ambientali, e in generale ad un controllo degli effetti di tutte le decisioni. Ovviamente, a questo aumento di *facilities* tecnologiche potrà seguire un vero vantaggio solo se si svilupperà di pari passo una presa di coscienza del significato e dei limiti dei modelli. Occorre, a questo proposito, ricordare che quasi sempre i dati ambientali disponibili non consentono di andare oltre il livello di una prima caratterizzazione dei fenomeni. A tale livello si associa una comprensione sommaria, per ordini di grandezza, dei processi fisici descritti con modelli

[°] DICMA- Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Università di Bologna.

matematici. Quindi non ci si può affidare alle risposte dei modelli, intendendole valide quantitativamente, in assenza di una validazione (solidamente dimostrata) della loro taratura. Inoltre, occorre che le amministrazioni che richiedono studi e previsioni (ad esempio per studi di impatto) siano perfettamente informate circa i contenuti ed i limiti delle affermazioni prodotte. In genere, per problemi ambientali che generano una modesta conflittualità socio-economica, si può decidere in base ad una valutazione approssimativa e a favore di sicurezza. Solo di rado è richiesto un approfondimento con modelli più complessi e più esigenti in termini di dati in ingresso. Le risposte dei modelli devono essere comunque riportate, ogni volta che ciò sia possibile, a livello cartografico sulle basi mappali correnti, e i risultati devono essere chiariti in termini comunicabili e associati ad una stima della loro affidabilità e dei margini di incertezza dell'output.

A questo proposito, risulta estremamente utile che l'analisi dei dati e la modellazione vengano fatte nello stesso ambiente operativo della cartografia (un GIS). I GIS sono oggi sempre più economici e *user friendly*, e si può supporre che un numero crescente di persone possa essere attirato dal linguaggio che essi permettono di parlare: non solo freddi resoconti pieni di tabelle e grafici troppo tecnici, ma un insieme di mappe tematiche che consentono di visualizzare a colpo d'occhio, se ben costruite, la maggior parte degli aspetti salienti dei fenomeni studiali e delle previsioni effettuate. I GIS sono sempre più ricchi di funzioni di modellistica vera e propria, per cui è già possibile (ed è prevedibile che lo sarà sempre più) implementare veri e propri modelli di processi fisici all'interno di ambienti di cartografia numerica (Maidment e Ye, 1996).

Si evidenzia così un secondo ruolo emergente della modellistica nelle analisi ambientali: oltre a conseguire una capacità di previsione, con l'uso dei modelli si può costituire una base di discussione *politica* per la decisione. Nonostante la complessità dei fenomeni, i modelli *riescono* a fare alcune previsioni. In assenza di altro, quelle previsioni sono il terreno più razionale per il dibattito. I *decision makers* devono giustificare le loro scelte sulla base delle previsioni che hanno fatto, e gli oppositori devono contrastare queste giustificazioni sullo stesso terreno di razionalità 'scientifica'. Ciò non significa che le scienze fisiche siano l'unico linguaggio utilizzabile. Tuttavia, ogni affermazione, nel dibattito sugli usi del territorio, deve essere supportata da una precisa analisi razionale e da una rappresentazione condivisibile, o per lo meno negoziabile.

Tab. 1 – Ambiti di analisi ambientale e modellistica utilizzabile

Ambito di analisi ambientale	Valutazioni prevedibili	Modelli utilizzabili
Aria	effetti di emissioni point e non point;	modelli gaussiani(*°); modelli box per inquinanti 'pesanti'(*°)
Acque Superficiali	effetti di scarichi e prelievi sui corpi idrici; processi idrologici e loro modificazione; erosione; piene fluviali	modelli incrementali per la valutazione delle portate minime vitali (*); varie forme dell'equazione di Streeter e Phelps(*); modelli elementari di trasformazione afflussi-deflussi (cinematico, invaso, GIUH, Nash...)(*); bilanci idrologici(*°); equazione USLE e sue modifiche(*°); modello di Morgan, Morgan e Finney e sue modifiche(*°); modelli idraulici di moto vario a pelo libero(+)
Acque sotterranee	Inquinamento delle acque e dei suoli; subsidenza	Modelli di flusso e trasporto degli inquinanti in falda (analitici (*°) e numerici(^)); modelli di infiltrazione (analitici(*°) e numerici(+^)); leggi di compattazione dei terreni per la subsidenza(*°)
Controllo delle pratiche agronomiche	Rilasci di inquinamento diffuso da colture e allevamenti	Modelli empirici (GLEAMS); modelli di dettaglio (WEPP, SWAT, AgNPS...); modellistica GIS-based
Rumore-vibrazioni	Effetti di attività estrattive, industrie, infrastrutture...	Leggi empiriche a base fisica per la propagazione e le attenuazioni delle onde di pressione(*°)

(segue) Campi elettromagnetici Ecologia	Intensità dei campi in prossimità di linee elettriche e circuiti Analisi degli effetti di interventi antropici sui sistemi di ecosistemi; previsioni in dinamica delle popolazione	Modelli analitici basati sulle equazioni di Maxwell, con correttivi empirici(*°) Modelli di scelta dei percorsi in una rete ecologica(+); analisi rule-based(*°+^); modelli di dinamica di popolazione (capacità portante degli ecosistemi, competizioni, sinergie, nicchie ecologiche...)(*+)
Discariche RSU	Previsione della produzione di percolato	Bilanci idrologici sul corpo della discarica(*+); analisi identificativa tipo black-box(+*)
Analisi di rischio	Quantificazione delle esposizioni di sostanze nocive per varie vie di trasmissione	Modelli empirici prodotti nel corso di studi epidemiologici(*°).

*=implementabili su foglio elettronico; °=implementabili su visualizzatori di superfici continue (es. Surfer); +=implementabili in ambienti di calcolo ingegneristico (es. MatLab); ^=richiedenti specifici codici di calcolo

I modelli dei sistemi ambientali si possono classificare come mostrato in tabella 2.

Tab. 2 – Livelli di modellazione dei fenomeni ambientali

Livello	Caratteristiche	Dati richiesti
I	Previsione dettagliata dei fenomeni fisici	Campagne di raccolta di dati che presuppongono attrezzature sperimentali
II	Previsione dei soli effetti significativi, ai fini della pianificazione, dei fenomeni fisici	Raccolta di dati ad hoc con attrezzature standard
III	Screening, o valutazione per ordini di grandezza	Raccolta di dati specifici del luogo, ma non eccessivamente dettagliati, quali quelli che spesso sono disponibili nei database standard

Scorrendo la tabella 1, si nota come non siano molti, a dispetto della complessità dei sistemi oggetto di studio, i tipi di modelli di impiego ‘standard’. Alcuni problemi ambientali vengono studiati *ad hoc*, con modelli molto specialistici e campagne di raccolta dati costose e difficilmente generalizzabili ad ampie porzioni di territorio. In ognuno degli ambiti riportati in tabella 1, è ovviamente possibile usare modelli molto complessi, del livello I in tabella 2, ma è ormai chiaro che ciò si limita in pratica solo ai casi-pilota. Sono di questo tipo i modelli cosiddetti *completi* per la simulazione delle trasformazioni afflussi-deflussi in idrologia, e i modelli lagrangiani di dispersione in atmosfera. I modelli del livello II possono essere usati nei casi in cui occorrono verifiche approfondite di determinati fenomeni, ma si ammettono comunque drastiche semplificazioni perché interessa solo un sottoinsieme dei processi fisici coinvolti. Esempi possono essere riscontrati nell’uso di modelli bidimensionali dell’idrologia sotterranea, e i modelli di moto permanente per le correnti monodimensionali a pelo libero. I modelli del livello III sono quelli di più generale diffusione nel campo delle valutazioni ambientali. Esempi sono quelli gaussiani di dispersione in atmosfera (USEPA, 1995; Benson, 1979), quelli di cinetiche degli inquinanti nelle acque superficiali con ipotesi di flusso non diffusivo (Streeter e Phelps, 1925), quelli delle strutture dell’ecologia del paesaggio (Forman e Godron, 1986).

Esistono campi di pianificazione (soprattutto industriale) nei quali l’utilizzo di modelli matematici di sistemi naturali è operazione del tutto ordinaria: ad esempio, nell’industria petrolifera si effettuano correntemente simulazioni previsionali relativamente al flusso e trasporto di fluidi nei giacimenti. Al livello della gestione ambientale, tuttavia, oggi i modelli più complessi praticamente usabili riguardano la gestione delle risorse idriche: la presenza di una tradizione molto antica, e la relativa facilità di osservazione dei fenomeni (la cui dinamica non ha l’effimero dell’atmosfera e lo statico della litosfera), consentono di disporre di un corpo di dottrina piuttosto vario, e di modelli relativamente complessi che pure conservano una discreta applicabilità. Ad esempio, è possibile utilizzare le equazioni iperboliche di St Venant per descrivere la propagazione di una piena fluviale, e usare i risultati per la discussione politica su come individuare aree esondabili e casse di espansione; oppure mettere a punto un modello matematico tridimensionale di acquiferi, risolvendo con tecniche numeriche le equazioni del flusso e del trasporto, per ottenere indicazioni non ovvie ai fini della progettazione di interventi idraulici

‘speciali’. Ovviamente queste applicazioni richiedono una raccolta di dati ed un impegno di calcolo che viene giustificato solo dall’esigenza di studi approfonditi. A quanto pare, si tratta delle applicazioni modellistiche più avanzate che si siano finora diffuse presso le pubbliche amministrazioni per la soluzione di problemi ambientali.

Nella pratica corrente trovano largo impiego, invece, modelli di calcolo idraulico fluviale più semplici (p.es. quello di moto permanente HEC-RAS, USACE, 1998) usati per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza idraulica del territorio, la verifica di officiosità delle sezioni dei corsi d’acqua e altri scopi analoghi. Questi modelli rientrano ormai fra gli strumenti di calcolo ingegneristico ordinario. Analogamente diffusi sono modelli di moto negli acquiferi secondo schemi bidimensionali, utilizzati sia per prevedere la dinamica delle falde, sia per modellare la dispersione degli inquinanti e le loro cinetiche di degradazione, naturale o controllata artificialmente. Al proposito, esistono modelli che possono essere reperiti gratuitamente sul World Wide Web (WWW), come ad es. Bioplume III (Rafai *et al.*, 1998). Occorre notare però che questi prodotti spesso contengono alcuni errori di programmazione che li rendono quasi inutilizzabili (ad es. Lorenzini, 1999).

Altri modelli simili possono essere acquistati a costi molto contenuti (Chiang *et al.* 1998).

Fra i modelli di *screening*, meritano di essere ricordati quelli relativi all’inquinamento dei suoli. Un utile esempio è l’Hydrocarbon Spilling Screening Model (HSSM), riferito alla percolazione e al trasporto in falda degli idrocarburi (Charbeneau *et al.*, 1997). Tutti questi modelli possono però essere implementati anche in ambienti molto famigliari, come i fogli elettronici, e *devono* essere applicati, quando non si hanno dati molto dettagliati, per ottenere prime indicazioni sugli ordini di grandezza dei fenomeni. Ogni modello più complesso, che venga utilizzato in assenza di dati non idonei, fornisce infatti risultati quasi sempre inattendibili, mentre i modelli di *screening*, che danno risposte molto generali, consentono di filtrare l’incertezza in una risposta ‘mediata’ per ordine di grandezza. Schnoor (1997) fornisce un’eccellente panoramica, cui si rinvia il lettore per ulteriori approfondimenti, dei modelli che effettivamente servono nella pianificazione e nelle valutazioni ambientali, e che nella generalità dei casi possono essere implementati senza dover ricorrere a software *ad hoc*.

Bibliografia

- Schnoor, G., Environmental Modeling, Wiley, New York, 1997
- Lorenzini, E., Verifica del modello Bioplume III, Tesi diploma in Ingegneria dell’Ambiente e delle Risorse, 1999
- Streeter, H.W. and Phelps, E.B., US Public Health Service, Bulletin No.146, 1925
- Ye, Z., Maidment, D., McKinney, D., Map-based surface and subsurface flow simulation models: an object-oriented and GIS approach; CRWR Online Report 96-5, Austin, Texas, 1996
- USEPA, Office of Air quality planning and standards, ISC3 Dispersion Models, User’s manual, Research Triangle Park, NC, 1995
- Benson, P.E., CALINE3, a versatile dispersion model for predicting air pollutant levels near highways and arterial streets, OTL, Ca, 1979
- Norma ISO 9613 – 2: Acoustic attenuation of sound during propagation outdoors – general methods of calculation, International Standard 1996
- Chiang, W.H., Kinzelbach, W., Rausch, R., Aquifer Simulation model: groundwater flow and transport modeling, Gebr. Borntraeger Verl., Berlin-Stuttgart, 1998
- Charbeneau, R.J., Weaver, J.W., Lien, B.K., The Hydrocarbon Spilling Screening Model, User’s manual, USEPA, 1995
- Rafai, H., Newell, C.J., Gonzales, J.R., Dendrou, S., Kennedy, L., Wilson, J., Bioplume III User’s manual, USEPA, 1998

- USACE, Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, version 2.2, Davis, Ca, 1998
- The Mathworks Inc., Matlab User's Manual, 1998
- Microsoft, Excel 97 User's Manual, 1997
- Golden Software, Surfer 7.0 User's Guide, 1998
- Williams, T., Colin, K., GNUplot, an interactive plotting program, 1986
- ESRI ArcInfo 4.0 User's manual, 1995
- Forman, R.T.T. , Godron, M., Landscape Ecology, Wiley, New York, 1986