

ALESSANDRO COSTA

## METAFORE ECOLOGICHE URBANE

Per molto tempo gli spazi urbani sono stati visti principalmente come contraddizioni della natura, quasi si trattasse di meri «corpi estranei», le cui dinamiche e i cui processi risultavano essere completamente alieni e distonici rispetto a quelli degli altri ambienti presenti sulla Terra. In realtà, le città possono essere considerate come sistemi complessi lontani dall'equilibrio, che risultano dalla manipolazione volontaria dell'ambiente fisico condotta dalla popolazione umana. In questo senso, assumendo che anche per l'uomo, in quanto specie animale, rimangano validi i principi delle teorie ecosistemiche, è possibile condurre una lettura delle dinamiche e dei processi delle strutture urbane facendo riferimento alle leggi proprie dell'ecologia. Ciò consente di pervenire alla definizione di spunti interpretativi originali, a partire dai quali sarà possibile sviluppare nuove indagini in merito all'oggetto città, soprattutto per ciò che concerne l'approfondimento delle sue *performances* di sostenibilità ambientale.

L'approccio proposto attraverso queste pagine rientra tra i modi di procedere tipici delle speculazioni dell'ecologia urbana. Dal punto di vista generale, gli studi di tale sottodisciplina possono essere suddivisi in due grandi categorie. La prima, basata su un orientamento ecologico più tradizionale, è relativa allo studio delle dinamiche e habitat delle biocenosi ospitate negli spazi urbani, tipicamente osservabili nelle aree verdi e negli spazi marginali o interstiziali <sup>(1)</sup>. Questi approfondimenti hanno rivelato l'esistenza di spettri di diversità sorprendentemente articolati, che sotto questo aspetto poco hanno da invidiare agli ecosistemi naturali, anche se caratterizzati da un elevato tasso di parcellizzazione. Nella struttura trofica completa che così prende forma, però, raramente l'uomo ricopre un ruolo di partecipazione diretta che non sia limitato a quello – spesso accidentale – di importatore di specie esotiche. Di tali biocenosi, l'uomo risulta essere, piuttosto, l'elemento regolatore delle dinamiche interspecifiche <sup>(2)</sup>. Come

---

(1) Per «spazio interstiziale» viene qui intesa quella parcella di territorio racchiusa tra due o più infrastrutture urbane, che generalmente non trova utilizzo antropico alcuno, oppure ne trova uno solo marginalmente significativo.

(2) Anche se, una volta in più, quasi sempre in maniera involontaria o come reazione a episodi di esplosione di popolazione.

facilmente intuibile, l'incidenza della biodiversità su dinamiche/processi urbani è in realtà estremamente bassa, proprio per il fatto che le specie coinvolte debbono in massima parte sottostare al ruolo schiacciante della popolazione umana. Questo filone di ricerca può essere definito come l'ecologia delle specie non umane in ambiente urbano, il che equivale a parlare di studi ecologici *negli* ecosistemi urbani.

La seconda categoria di studi di ecologia urbana è relativa, invece, allo studio dell'ecologia umana, cioè all'approfondimento delle dinamiche antropiche della popolazione umana in ambito urbano. Questo filone fa riferimento al modo in cui le città provvedono ai bisogni e ai desideri umani, alle qualità e alle opzioni di vita che esse rendono possibili e alle relazioni tra pianificazione, progettazione ed erogazione di servizi da una parte e comportamento e benessere dall'altra. Trattandosi di un approccio squisitamente antropocentrico – come è logico che sia, trattandosi di sistemi strutturati dall'uomo e per l'uomo – non riserva grande attenzione alle relazioni che intercorrono tra la popolazione umana e il resto della comunità vivente, se non per i potenziali rischi per lo sviluppo e per il benessere della comunità umana che da essa possono derivare <sup>(3)</sup>.

In un'ottica di giusta collocazione delle dinamiche antropiche con quelle delle altre componenti dell'ambiente urbano, si può rivedere e aggiornare questa seconda opzione di approfondimento conoscitivo. Tra le altre cose, ad esempio, va tenuto presente come un ruolo significativo deve essere assegnato all'insieme di scambi che si vanno instaurando tra ecosistema urbano e quella parte del suo intorno spaziale che ne costituisce il sistema di supporto, da cui il primo trae le risorse per alimentare i propri processi e, al tempo stesso, verso cui indirizza i materiali esausti. In questo caso si può, dunque, parlare di studi ecologici *degli* ecosistemi urbani. Ciò viene realizzato attraverso il ricorso all'interpretazione ecosistemica, che risulta essere in gran parte basato sulla forza della metafora <sup>(4)</sup>.

*La città come ecosistema.* – Come appena accennato, le città sono dei sistemi aperti, in quanto hanno bisogno di scambiare con l'esterno materia ed energia per mantenere la propria struttura complessa. Esse, inoltre, contengono in uno spazio limitato una biocenosi eterogenea, in stretta relazione con il proprio mezzo fisico. Questa relazione, attraverso l'attività interna, comporta un'evidente trasformazione del mezzo fisico stesso. Le città, poi, sono dei sistemi cibernetici, cioè dotati di meccanismi di autocontrollo (*feedback*) deputati a mantenerne la stabilità e l'esistenza. Anche questi sono basati sull'interscambio di materia, energia e informazione con l'ambiente esterno. Per fornire un esempio, si pensi

(3) Quali, ad esempio, le interferenze epidemiche, la presenza di specie infestanti eccetera.

(4) Come ricorda G. Zanetto, «Metafora è adottare per un oggetto il linguaggio tipico di un altro, non così diverso questo da impedire – per un momento almeno – l'inganno della confusione tra i due e guidando all'immaginazione di una più ricca immagine del primo: a queste condizioni la metafora è una formidabile fonte di creatività» (Zanetto, 1989, p. 348).

al sistema di raccolta e rimozione dei rifiuti solidi urbani, che consente di trasferire altrove il carico entropico sviluppato dai processi urbani dei propri abitanti.

Le principali tipicità che si possono osservare in questo particolare ecosistema rispetto agli ecosistemi naturali sono: *a*) elevata concentrazione spaziale e prevalenza funzionale sulle altre specie viventi della popolazione umana, emancipata dai propri predatori e competitori naturali; *b*) alto grado e diversità delle modificazioni imposte all'ambiente fisico per mezzo delle attività antropiche (*artificializzazione*); *c*) necessità, per la popolazione dominante, di alimentare i processi interni al sistema attraverso flussi di materia ed energia provenienti da territori limitrofi o lontani, unita alla capacità di movimentare materiale virtualmente da qualsiasi punto del pianeta; *d*) quantità scarsamente significativa di produzione primaria, che rende la città un ecosistema *eterotrofico*, dipendente dall'apporto energetico ottenuto attraverso l'impiego di combustibili fossili e altre fonti esterne <sup>(5)</sup>; *e*) grande quantità di energia *esosomatica*, cioè quella veicolata al di fuori degli organismi viventi <sup>(6)</sup>, impiegata per alimentare i processi urbani interni ed esterni: produzione di beni, smaltimento di rifiuti, trasporti, edificazione eccetera; *f*) elevata complessità supplementare, che si manifesta nella presenza di un gran numero di artefatti culturali materiali e immateriali.

Tali differenze discendono, ovviamente, come conseguenza diretta delle peculiarità della popolazione umana. Gli uomini sono creature autocoscienti, sociali (in grado di dar luogo a raggruppamenti organizzativi gerarchizzati su cui è impostata la divisione del lavoro), dotate di grandi capacità di manipolazione del loro intorno materiale. Essi sfruttano l'apprendimento quale mezzo primario di adattamento e creano istituzioni specifiche per regolare la produttività, la conservazione e la distribuzione del sapere. Tale strumento si è talmente evoluto nel tempo che l'uomo può apprendere sia come individuo, sia come gruppo, sia come istituzione.

Questa preponderanza della dimensione umana sull'assetto fisico e spaziale del luogo urbano – al punto che la biocenosi degli agglomerati urbani potrebbe essere ribattezzata *antropocenosi* – è un fenomeno che produce *territorio*, inteso come modulazione e complessificazione antropica del mezzo naturale. L'ecosistema urbano, dunque, rappresenta il più classico tra gli esempi di *ecosistema artificiale*. Sottolineare l'artificialità dell'ecosistema urbano permette di introdurre il concetto di città come *fenocopia*, mutuando un termine abitualmente utilizzato per definire quelle specie viventi che vengono mantenute adattate mediante l'intervento dell'uomo <sup>(7)</sup>. È il fattore culturale, infatti, che governa l'esistenza e l'evoluzione della città, incidendo in misura soverchiante rispetto ai fattori naturali nel condizionare le dinamiche dell'ecosistema urbano. Inoltre, è sull'ap-

(5) Se si esclude il contributo energetico solare, in genere relativamente modesto.

(6) La quota di energia *endosomatica* nell'ecosistema urbano, cioè quella che viene assorbita dagli organismi viventi (e che negli ecosistemi naturali viene trasferita lungo la catena trofica), è proveniente in massima parte dalla produzione alimentare degli agroecosistemi.

(7) Si pensi, ad esempio, agli animali d'allevamento oppure ad alcuni tipi di piante coltivate. La *fenocopia* può essere definita come il risultato che su un individuo hanno l'azione combinata di genotipo e di fattore culturale.

porto continuo di energia esosomatica e sulla sua veicolazione per traiettorie interne alla struttura urbana che si fondano alimentazione e mantenimento della complessità della agglomerazione stessa.

Altro elemento distintivo degli ecosistemi antropizzati, di cui la città è il più chiaro esempio, è il fatto che alla richiesta biologica di risorse, avanzata dagli organismi appartenenti alla biocenosi urbana, si deve aggiungere una cospicua richiesta culturale sviluppata dalla popolazione umana. La richiesta culturale è costituita da un insieme eterogeneo di fattori concatenati, che comprende in modo particolare il sistema degli scambi economici, lo sviluppo tecnologico, i sistemi di trasporto e di comunicazione, le strutture educative, le attività sociali, i sistemi di sicurezza e previdenziali, le manifestazioni dell'arte e della creatività. Sono la forza e il potere che derivano alla città dalla sua cultura i fattori che le consentono di garantirsi dall'esterno gli *inputs* necessari al suo funzionamento e allo smaltimento degli *outputs* e che, allo stesso tempo, permettono di organizzare la coesistenza di un numero molto elevato di individui che si dedicano a un *pool* eterogeneo di attività.

Il fatto, poi, che l'uomo sia in grado di movimentare materiale virtualmente da qualsiasi punto del pianeta implica che la localizzazione ecologica degli insediamenti urbani non coincide più con quella geografica, al punto che in alcuni casi-limite la struttura urbana estende la propria influenza diretta di reperimento di risorse su una superficie pari a 200 volte la sua area.

Alla luce del grado di apertura riscontrabile nei sistemi urbani, si può ragionevolmente interpretarli come ecosistemi che occupano uno stadio evolutivo immaturo nella successione ecologica naturale. Questa, invece, ha per stadio culminante la *fase climax*, nella quale l'organizzazione funzionale della rete trofica si è sviluppata al punto da ridurre al minimo la necessità di apporti esterni, attraverso la ciclizzazione dei flussi materiali. L'ecosistema *climax*, dunque, è caratterizzato da un grado di apertura di gran lunga inferiore rispetto all'ecosistema urbano.

Il ricorso alle considerazioni sopra esposte permette di descrivere con il termine *ecologia urbana* lo studio delle dinamiche, delle interrelazioni e dei processi che avvengono tra i comparti funzionali in cui è suddiviso l'ecosistema artificiale urbano. È questa una definizione assai simile a quella adottata da altri autori. Ad esempio, V. Bettini con la medesima espressione intende riferirsi al ricorso a «ciò che è acquisito in termini di leggi e fondamenti nell'ecologia scientifica per meglio comprendere e interpretare la realtà urbana, forzandone l'analisi in quanto ecosistema» (Bettini, 1996, p. 83).

Come si può facilmente evincere, infine, un'analisi sistemica dell'ambiente urbano non può prescindere dall'integrazione di variabili scientifiche classiche con variabili socio-economiche, pena la parzialità della resa interpretativa.

*Città: nicchia ecologica o habitat per la specie umana?* – Alcuni autori (si veda al riguardo Indovina, 2003) hanno definito la città come la «nicchia ecologica della specie umana». Per quanto si tratti di un'immagine suggestiva, tale afferma-

Tab. 1 – *Confronto tra specializzazione funzionale nei sistemi naturali e in quelli urbani*

|                        | Sistema naturale    | Sistema urbano          |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| Base organizzativa     | Diversità specifica | Diversità culturale     |
| Strumento di selezione | Selezione naturale  | Suddivisione del lavoro |

zione risulta fondata su una approssimazione del concetto di nicchia che ne affronta solo in maniera parziale le caratteristiche determinanti di polidimensionalità e funzionalità. Da un accostamento più ragionato della scienza ecologica all'interpretazione dei discorsi urbani scaturisce, semmai, un'altra più calzante analogia: quella che propone la città quale *habitat* predominante per la specie umana. Il concetto di *nicchia*, invece, può essere recuperato per definire il percorso di frequentazione funzionale occupato dalle diverse categorie di cittadini – che, si ricorda, sono i membri della popolazione della specie dominante – suddivisi per tipologia di occupazione o attività. Si tratta, evidentemente, di un aspetto tipicamente influenzato dalla classe sociale di appartenenza e dai riferimenti culturali acquisiti, intesi in senso ampio. In tal modo, a una realtà urbana è possibile associare uno spettro ampio di nicchie occupate da categorie, gruppi, specializzazioni della popolazione urbana. Esse si integrano in modo funzionale a formare la comunità cittadina.

Questa interpretazione della struttura sociale urbana – con le relazioni che determina per lo sviluppo dell'oggetto città in sé – si basa sulla trasposizione in chiave socio-culturale di un concetto di grande centralità negli studi ecologici, quale quello di *biodiversità*, che verrà approfondito più avanti. È questo un parallelo ricco di implicazioni pratiche, che ha ispirato lo studio dei modelli di occupazione spaziale del territorio urbano, basato su un approccio interdisciplinare ecologico/urbanistico. Tale ambito di ricerca è volto a determinare l'assetto di massima coesistenza spaziale tra diverse funzioni/attività urbane. Ciò per ottimizzare la presenza della comunità umana e pervenire a una migliore allocazione delle risorse territoriali, calibrando la densità di attività compatibili – e di popolazione – secondo la capacità di carico del sistema. In termini più pertinenti all'ecologia, si può affermare che, in campo urbano, gli individui della popolazione umana tendono a mettere in atto strategie di abbassamento del tasso di competizione intraspecifica (cioè tra individui appartenenti alla medesima specie), attraverso la specializzazione della propria nicchia ecologica. Un obiettivo, questo, perseguito facendo ricorso alla diversificazione delle attività dei singoli o dei singoli gruppi di individui.

In un confronto sistema naturale *vs.* sistema urbano, si può osservare come la specializzazione funzionale venga caratterizzata da fattori differenti che operano in maniera analoga, come esposto dalla tabella 1. Da un lato, l'organizzazione dell'ecosistema naturale è basata sulla diversità specifica, mentre quello urbano fa capo alla diversità culturale. D'altro canto, in natura lo strumento di specializzazione funzionale è dato dalla selezione naturale, mentre nei sistemi urbani è rappresentato dalla suddivisione del lavoro. In questo parallelo giocano

un ruolo decisivo l'adattamento per apprendimento della popolazione umana e la volontarietà della sua azione.

*La città attraverso i suoi flussi.* – Il funzionamento degli ecosistemi è intimamente relazionato ai tassi di materia e di energia circolanti al loro interno. Anche per quanto riguarda la città, come per gli altri ecosistemi, il flusso delle risorse è completato da un intenso flusso di informazione, che funge da regolatore dei processi interni, in quanto può essere impiegato per permettere una migliore organizzazione del sistema. È questa una caratteristica più evidente nei sistemi antropizzati che non in quelli naturali, dove l'informazione viaggia prevalentemente per via endosomatica. Nei sistemi dominati dall'uomo è, infatti, il fattore culturale a costituire l'elemento fondamentale su cui si basano gli strumenti di regolazione del sistema, anche grazie al fatto che l'informazione può essere immagazzinata in serbatoi esterni agli individui (in precedenza definiti *artefatti*) per poi essere prontamente recuperata nella necessità di un suo impiego.

Il metabolismo urbano. Riflettere sulle dinamiche urbane facendo riferimento ai flussi che attraversano le città permette di introdurre un interessante approccio, quello relativo allo studio del metabolismo urbano. Esso fa riferimento a una trasposizione procedente dalla biologia (\*), che interpreta la città come un organismo. Nei suoi processi di mantenimento, alla stregua di un individuo, infatti, una struttura urbana può essere caratterizzata da due fasi principali: la *fase anabolica*, o attività costruttiva – l'insieme dei processi di rielaborazione della materia e dell'energia che entrano nel sistema città, per soddisfare le esigenze espresse dalla popolazione urbana; la *fase catabolica*, o attività degradativa – che riguarda la produzione nel sistema città dei residui derivanti dalle attività svolte.

Con la locuzione «metabolismo urbano» si intende far riferimento al «flusso di risorse che supporta l'ecosistema urbano, i processi di trasformazione delle risorse che avvengono dentro la città attraverso la produzione ed il consumo di beni e servizi, e i residui che vengono restituiti all'ambiente» (Alberti, Tssetsi e Solera, 1994, p. 26). In pratica, l'ecosistema città può essere considerato come una *scatola nera* (*black box*) che aumenta il proprio ordine interno a spese dell'ambiente circostante (il suo sistema di supporto), da cui ricava il «carburante» per alimentare i propri processi e verso cui rende i propri «cataboliti». Una schematizzazione semplificata del metabolismo di una città è fornito dalla figura 1, che riporta tale concettualizzazione nella forma originale avanzata dal suo ideatore, A. Wolman, alla metà degli anni Sessanta. A sinistra sono rappresentati gli anaboliti, a destra compaiono i cataboliti.

---

(8) In biologia il «metabolismo» di un organismo è definito come l'attività chimica totale e il flusso di risorse che hanno luogo al suo interno.

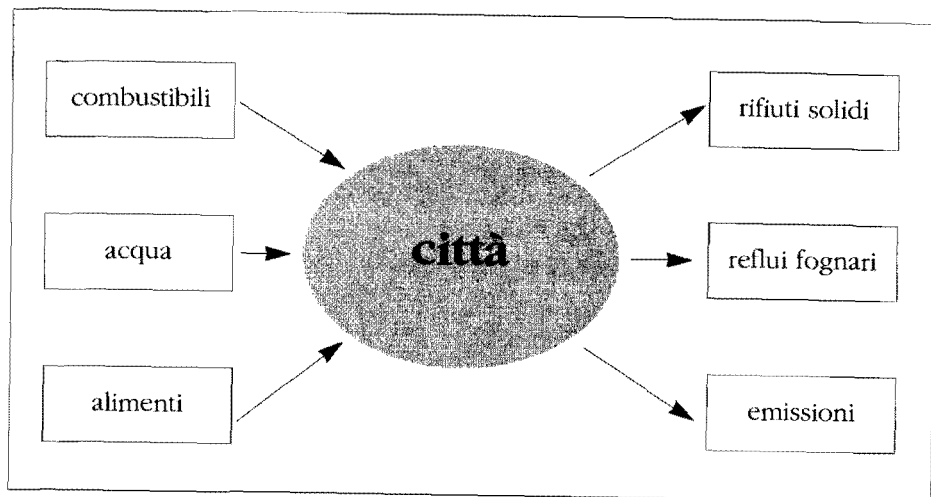


Fig. 1 – Il metabolismo della città secondo Wolman

Fonte: Costa (2003)

Nei limiti stabiliti dal secondo principio della termodinamica – si ricorda – maggiore è l'entropia (o *grado di disordine*, approssimabile facendo riferimento ai materiali esausti che la città deve allontanare per non congestionare i propri processi) prodotta dalla *scatola nera*, minore è il livello di sostenibilità che la città esprime. In linea generale, osservando con maggior dettaglio il fenomeno di scambio tra ecosistema, città e ambiente, questo può essere rappresentato attraverso la seguente equazione di bilancio:

$$E + \text{materia} + \text{informazione} = \text{ordine} + \text{prodotti} + \frac{E \text{ minore} + \text{rifiuti}}{\text{entropia}}$$

dove a sinistra vengono indicati gli *inputs* del sistema, mentre a destra sono raggruppati gli *outputs*. Si noti che l'entropia compare negli ultimi due addendi a destra, e che con il termine *E minore* si intende più propriamente lo sviluppo di entropia sotto forma di calore, una forma più degradata di energia.

Questa formula, che non ha un valore operativo ma solo illustrativo, può risultare utile per cercare di effettuare una prima stima della sostenibilità dei processi urbani, attraverso l'analisi delle quote di risorse non rinnovabili impiegate nei processi stessi <sup>(9)</sup>. Maggiori sono tali quote e più grande sarà la distanza della città da una gestione sostenibile. Un confronto tra le prestazioni fornite dalle differenti strutture urbane può aiutare a costruire una gerarchia di quali assetti urbani minimizzino l'impatto sul proprio sistema di supporto, risultando maggiormente orientati verso la sostenibilità dello sviluppo.

(9) Cosa che si può ottenere, altrimenti, impiegando un indicatore che stimi la quantità inversa, cioè il tasso di energia rinnovabile sull'energia totale consumata da una struttura urbana.

L'elaborazione di metodi per misurare il metabolismo di una struttura urbana ha lo scopo di cercare di quantificare il grado di apertura del sistema città ed effettuare valutazioni sull'intensità degli impatti che tale struttura origina sull'intorno. Si tratta di un metodo di indagine che, per certi versi, ha molto a che vedere con l'approccio proposto dall'*impronta ecologica* <sup>(10)</sup>.

È, dunque, possibile definire l'obiettivo della sostenibilità urbana come la riduzione dell'uso da parte della città di risorse naturali e della produzione di rifiuti, contestualmente all'incremento del livello di vivibilità, in modo che l'*oggetto città* possa inserirsi meglio all'interno della capacità di carico locale, regionale e globale degli ecosistemi. Per meglio comprendere la portata di tale affermazione è utile riferirsi a una visione più articolata del concetto di metabolismo urbano, che consideri come *input* materia, energia, capitale e informazione; e come *output* informazione-conoscenza, merci-prodotti, calore, rifiuti. Assieme a questi fattori, che possono essere assunti come gli elementi tangibili dell'ecosistema urbano, andrebbero in qualche modo presi in considerazione anche quegli aspetti intangibili – assai più complessi da calcolare in quanto soggettivi – come i parametri relativi alla qualità della vita dei cittadini. Nel caso in cui si voglia fare ricorso a questo tipo di interpretazione del concetto di metabolismo urbano, che si apre a termini meno deterministici, risulterebbe più indicato abbandonare l'equivalenza *città = scatola nera*, per indagare in maniera più puntuale quali siano i percorsi di canalizzazione dei flussi all'interno dell'ecosistema città. Così facendo, sarebbe più facile pervenire all'identificazione di quali siano le eventuali strozzature o le inefficienze a causa delle quali il sistema città non riesce a massimizzare le proprie potenzialità. Una simile analisi consentirebbe, in linea di principio, un valido supporto alla definizione di interventi correttivi volti a migliorare le prestazioni dell'ecosistema urbano, non solo in relazione alla tutela delle caratteristiche ambientali del territorio, ma anche in relazione alla aspirazione a un ambiente più salubre e accogliente, da parte della comunità umana che vi abita.

La chiusura dei cicli. Una lampante osservazione che scaturisce dallo studio dei flussi materiali nelle città è che gli ecosistemi urbani sono caratterizzati da un *metabolismo di tipo prevalentemente lineare*, in cui non si ha relazione tra l'origine delle risorse che vi scorrono e la loro destinazione come rifiuto. La modalità lineare comporta esiti radicalmente differenti rispetto al metaboli-

---

(10) L'*impronta ecologica* è definita come l'area di ecosistemi terrestri e marini richiesta per produrre le risorse usate e per assimilare i rifiuti generati da una determinata popolazione a uno specifico standard materiale di vita, indipendentemente dalla sua posizione sul pianeta. Tale metodo si basa sull'assunto che, nonostante che sia enorme il numero di beni e servizi prodotti dall'uomo, ve ne è solo un numero ridotto che sia rappresentativo di gran parte del carico esercitato dall'uomo sull'ambiente. Si può far riferimento a questo particolare «paniere» per calcolare l'impronta ecologica, applicando ai valori di produzione misurati opportuni fattori di conversione che sono in grado di far corrispondere alla produzione di un determinato bene o servizio una certa proiezione spaziale. Il risultato è espresso in *unità di superficie (ettaro)*. Si tratta, dunque, di una misura spaziale del metabolismo urbano.

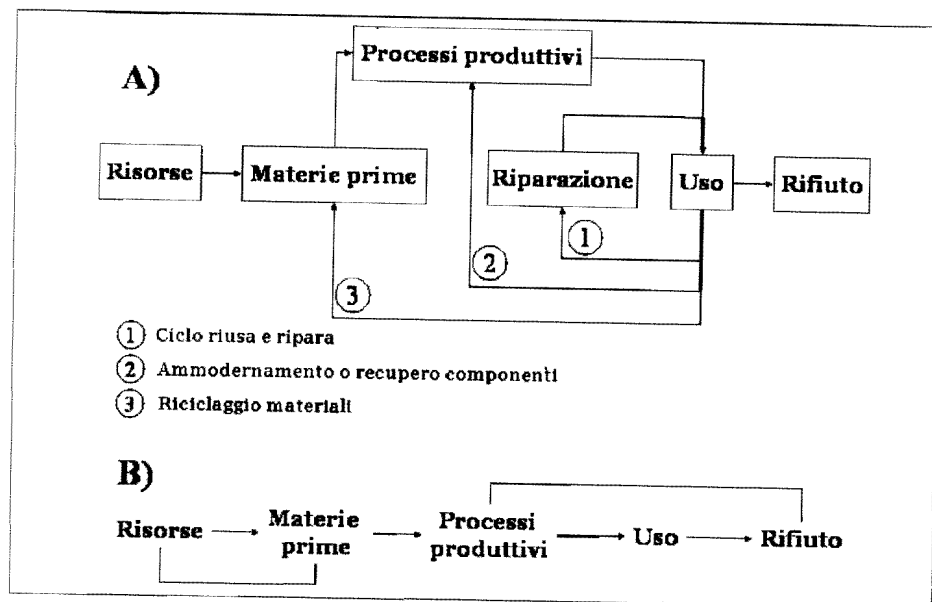


Fig. 2 – Confronto tra service economy (a) e processi produttivi lineari (b)

Fonte: riadattato da Bentivegna e altri, 2002

smo prevalentemente circolare proprio degli ecosistemi naturali maturi, dove ogni uscita è anche entrata che rinnova il ciclo e/o sostiene cicli vitali concatenati. Tendere alla chiusura dei cicli materiali, e ridurre il grado di apertura di quelli energetici, è una strategia irrinunciabile per istradare lo sviluppo urbano verso percorsi di sostenibilità. Tale operazione, però, implica una volontà politica ferma e decisa, destinata a scontrarsi con gli interessi consolidati degli operatori economici tradizionali e con le modalità consuete di gestione delle attività antropiche in genere. Ad esempio, la chiusura dei cicli energetici è un'operazione che deve necessariamente passare attraverso un cambio di base energetica. Essa è legata allo spostamento da fonti energetiche tradizionali verso fonti rinnovabili, e deve giovare anche dell'attivazione di tecnologie per il recupero dell'energia contenuta nei materiali residuali. Ridurre la dipendenza da petrolio e carbone e aumentare la produzione di energia solare, eolica oppure la cogenerazione, infatti, è una politica che consente di diminuire sensibilmente l'impatto ambientale delle attività antropiche, consentendo inoltre di contrastare l'avanzamento di alcuni fenomeni degenerativi globali, quali ad esempio l'effetto serra. È, comunque, fuori di dubbio che, sebbene esistano da tempo tecnologie disponibili per rivolgersi maggiormente alle fonti energetiche alternative, vi siano delle resistenze geopolitiche tuttora insormontabili che impediscono la rinuncia alle fonti fossili.

Dal punto di vista operativo, invece, il ricorso alla chiusura dei cicli materiali può essere interpretato in relazione alla chiusura dei cicli produttivi, cioè alla concatenazione di diverse sequenze manifatturiere. Ci si intende riferire al con-

petto di analisi del *metabolismo industriale* e al concetto di *service economy*. Ambedue i termini propongono la messa in atto di un insieme di processi industriali ed economici allacciati in maniera ciclica, abbandonando così l'attuale processo di conversione delle risorse secondo la sequenza produzione-consumo-rifiuto, di chiara forma lineare. Più in dettaglio, l'analisi del metabolismo industriale è volta a definire l'organizzazione di una catena produttiva in cui gli scarti e i rifiuti di un processo manifatturiero vanno a costituire l'*input* per ulteriori processi produttivi, concatenando a cascata il flusso materiale, con l'obiettivo di ridurre gli sprechi di risorse e la loro conseguente necessità di smaltimento. Come illustrato dalla figura 2, invece, nella *service economy* le strategie di produzione e manutenzione degli artefatti sono tese a estendere più a lungo possibile la vita dei materiali e delle componenti, in relazione al loro impiego. Questo approccio alla «ciclizzazione» dei flussi è basato sulla cosiddetta «filosofia delle 3R», che propone l'applicazione sistematica dei seguenti principi di educazione ambientale: riciclaggio, riduzione, riutilizzo ove possibile dei prodotti.

Al contrario di quanto visto per le risorse materiali, nel caso del flusso di informazione che scorre all'interno del sistema urbano non è necessario che ne venga garantita la chiusura del ciclo. Anzi, parte di questo flusso può essere ulteriormente elaborato per dare origine a nuova informazione e trasferito per migliorare la sostenibilità di altri sistemi ambientali <sup>(1)</sup>. In tale prospettiva, però, è necessario intervenire per far sì che l'informazione contenuta nei materiali residui possa essere proficuamente recuperata, per tornare a disposizione dei processi antropici. Una volta in più, uno dei punti cruciali di questa operazione è costituito dalla necessità di operare perché l'aumento di complessità del sistema urbano – dato dall'apporto di materia ed energia – venga messo in pratica prestando attenzione al quantitativo di entropia generato.

*Analogia tra rete trofica e sequenza produttiva antropica.* – Ulteriore trasposizione procedente dal mondo ecologico è quella relativa al parallelismo asimmetrico che si può instaurare tra la rete trofica biocenotica e la sequenza produttiva antropica.

In un ecosistema, il ciclo biologico dei materiali è garantito dai tre gruppi funzionali di forme viventi che costituiscono la biocenosi: produttori primari, consumatori e degradatori. Per analogia, questa suddivisione può essere applicata ai sistemi produttivi antropici (intesi in senso ampio, attraverso l'inclusione dell'attività di consumo). In essi si può stabilire la seguente ripartizione dei ruoli: l'*attività di produzione* (qui intesa di beni e di servizi) è svolta da quelle aziende che si occupano di produzione e distribuzione energetica, dal comparto manifatturiero e da quello alimentare; l'*attività di consumo* è svolta dalla popo-

(1) Si pensi, ad esempio, allo sviluppo di nuove tecnologie e di nuovi dispositivi per il controllo dell'inquinamento, all'elaborazione di protocolli di gestione ecosistemica, a macchinari agricoli energeticamente più efficienti, ma anche alla formazione di operatori ambientali e così via.

lazione umana, oltre che, in misura più trascurabile, dagli altri organismi che con essa instaurano relazioni mutualistiche (dalla simbiosi della flora batterica al commensalismo di alcuni animali domestici); l'*attività di degradazione* è espressa da quel complesso di attività che implicano processi di smaltimento e trasformazione dei rifiuti (liquidi, solidi, gassosi).

Approfondendo l'analisi di tale parallelismo, emergono alcune considerazioni di rilievo. Una prima riguarda la dislocazione spaziale dei gruppi funzionali e delle risorse. In un ecosistema naturale vige una certa prossimità fisica tra produttori, consumatori e degradatori. Questa assicura che solo una piccola frazione dell'energia del sistema sia impiegata per il trasporto fisico dei nutrienti tra i diversi gruppi funzionali, favorendo il riciclo dei materiali degradati. Al contrario, tale sforzo per la movimentazione è particolarmente elevato nel caso dei sistemi antropizzati, nei quali è riscontrabile una maggior separazione fisica tra i gruppi funzionali e una minor capacità di rilocalizzazione di questi ultimi, in quanto basata su fattori di opportunità economica e non di convenienza ecologica. Ciò comporta il bisogno di acquisire le risorse necessarie per sostenere i propri processi interni anche da distanze molto lontane.

Una seconda considerazione è relativa al fatto che i sistemi antropizzati, rispetto ai sistemi naturali, dimostrano una bassissima efficienza nel tasso di riciclaggio dei materiali. Basti pensare allo smaltimento operato attraverso la rimozione fisica dal sistema dei rifiuti prodotti dalle attività umane, un fenomeno che non è dato riscontrare nei sistemi governati da dinamiche naturali. Attraverso questi ultimi, al massimo, si può osservare un processo di *spiralizzazione* della materia, per cui il detrito organico proveniente da un ecosistema, quando proprio non riesce a essere interamente ciclicizzato *in situ*, viene trasportato da flussi vettori orizzontali (acqua, atmosfera, moto animale) verso altri ecosistemi, alimentandoli e rimandando così la chiusura dei cicli a una scala spaziale più grande. Questa inefficienza riscontrabile nei sistemi antropizzati si verifica per il fatto che i meccanismi retroattivi che controllano la chiusura dei cicli materiali non sono efficaci in un contesto economico come quello attuale, dove la relativamente alta disponibilità di risorse energetiche fossili rende – nel breve periodo – più vantaggioso il ricorso all'acquisizione di nuova materia prima, che non il riutilizzo dei materiali alla fine del loro ciclo di vita. Attraverso questo esempio viene confermato quanto già visto in precedenza, cioè il grado di apertura molto più elevato del sistema antropizzato, il quale deve basarsi su un apporto continuo e consistente di risorse, che riesce a riciclare solo in minima parte <sup>(12)</sup>.

In realtà, R.B. Husar ha osservato come il parallelismo qui proposto, pur fornendo spunti concettuali interessanti, si presenti distorto. Risultano evidenti, infatti, delle distonie nell'analisi del funzionamento del meccanismo naturale comparato con quello artificiale, in grado di spiegare parte dell'inefficienza nel riciclo dei materiali che si riscontra nei sistemi antropizzati. In un ecosistema, infatti, una grande porzione del materiale organico prodotto viene trasferito diretta-

(12) Attualmente, la massima parte dei materiali consumati dai paesi industrializzati (intorno al 95%) è destinata all'abbandono, un fenomeno indicato nella figura 3.

mente dai produttori primari (piante) verso gli organismi degradatori (funghi e batteri). Come imposto dal secondo principio della termodinamica, solo una piccola frazione della produzione primaria viene invece assimilata dai consumatori e trasferita lungo la struttura trofica. Gli organismi degradatori, in ogni caso, restituiscono di nuovo la materia minerale ai produttori primari, che ne attuano un riutilizzo. Nei sistemi antropizzati, invece, il flusso di materia da produttori a degradatori è praticamente inesistente, in quanto sarebbe ovviamente privo di significato avere una produzione materiale direttamente riciclata, senza l'inserimento di almeno un consumatore nella sequenza. In questo caso, gran parte del materiale mobilizzato viene trasferito al di fuori del sistema sia da parte dei produttori (scarti e inquinamento), sia dei consumatori (rifiuto costituito dal prodotto, o parti di esso, al termine della sua vita utile). Queste differenze nell'articolazione della rete trofica ecosistemica e del suo corrispondente antropico/urbano molto più semplificato, che si può indicare col nome di *rete di mercato*, sono schematizzate nei diagrammi della figura 3.

*La diversità tra attori urbani come trasposizione della diversità biologica.* —

Un altro interessante concetto ecologico che può essere trasferito agli studi urbani è quello relativo all'analisi della diversificazione funzionale degli individui (i cittadini) quale strategia per aumentare il grado di stabilità del sistema (città). È questa una interpretazione che fa capo alla scuola di ecologia di Barcellona, che ha in R. Margalef il suo primo ispiratore.

Riprendendo un tema già toccato in precedenza, si può affermare che gli ecosistemi naturali tendono ad aumentare la propria complessità nel tempo sino al raggiungimento dello stadio *climax*, in quanto la loro capacità autorganizzativa è in grado di accumulare e strutturare informazione. Al contrario, è stato osservato come i sistemi naturali che sperimentano una banalizzazione vadano quasi sempre incontro a un aumento della propria instabilità. In tale modo è possibile stabilire una relazione diretta tra stabilità e complessità. Il senso più compiuto dell'esistenza nell'ecosistema di un ampio spettro di specie differenti, dunque, è quello di dotare il sistema stesso della maggior efficacia possibile nell'utilizzo delle risorse, attraverso la specializzazione funzionale delle sue componenti che, in seguito all'azione della selezione naturale, vanno a occupare una gamma di nicchie ecologiche diverse. Questa suddivisione dei compiti costituisce un meccanismo di regolazione e controllo (*feedback*) del sistema, favorendo una massimizzazione nell'uso delle risorse e dell'energia e un aumento della resilienza<sup>(13)</sup>. Ogni specie è portatrice di una determinata quantità di informazione in un ecosistema naturale, contributo che, per quanto gerarchizzato secondo

(13) La sovrapposizione parziale di molte nicchie ecologiche, inoltre, comporta una certa ridondanza nella diversità ecosistemica, che si traduce in una sovrabbondanza di elementi dalle funzioni analoghe. Pur dando luogo a fenomeni competitivi interspecifici, quella sovrabbondanza determina una miglior resistenza dell'ecosistema nei confronti di perturbazioni prodotte dalla perdita di diversità, che tenderebbero a minarne la stabilità.

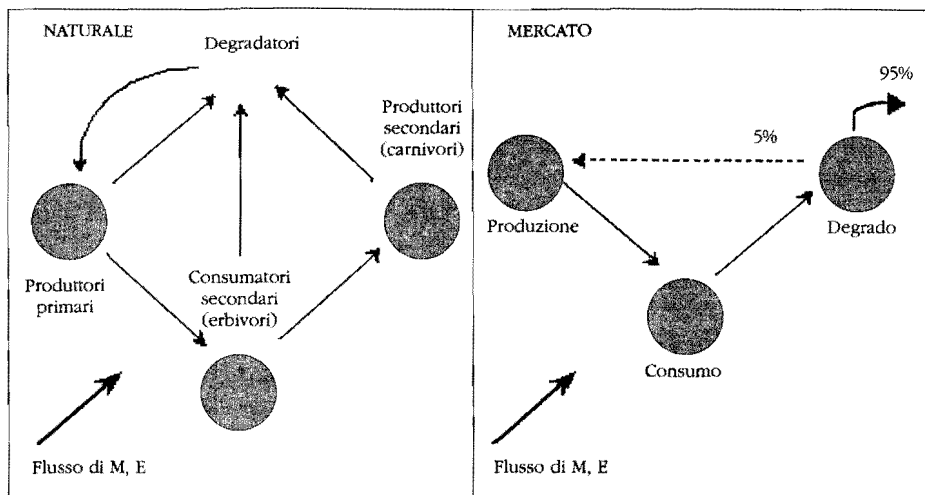


Fig. 3 – Relazioni tra gruppi funzionali nella rete trofica naturale e nella rete di mercato

la posizione che essa occupa nella rete trofica, concorre a definirne la complessità totale. Un ecosistema con molte specie ha, quindi, un'organizzazione più complessa e un numero maggiore di meccanismi regolativi in grado di stabilizzarne la funzione globale.

Alla luce delle difficoltà intrinseche che ostacolano il calcolo della quantità di informazione contenuta in un ecosistema <sup>(14)</sup> – anche nel caso in cui tale operazione voglia essere limitata a un singolo componente – viene presa in considerazione la diversità ( $H$ ) quale ragionevole approssimazione della sua complessità. Essa è rappresentata dal numero di specie differenti presenti in un ecosistema in relazione al numero di individui di ciascuna di esse. La misura di  $H$  fornisce un'indicazione sull'articolazione della rete trofica in base al numero di nicchie ecologiche esistenti in un ecosistema, permettendo di inferire che più elevato è il suo valore e più alta sarà la stabilità in una biocenosi naturale.

Trasponendo il ruolo della specializzazione funzionale all'ecosistema urbano, alla ricerca di indicazioni sulla sua stabilità, non ha molto senso fare riferimento allo spettro di diversità offerto dalla biocenosi della città, a causa della profonda incidenza che l'uomo ha sulle dinamiche dell'ecosistema su cui insiste. In tal senso, il contributo delle altre specie risulta estremamente ridotto, al punto da poter essere in questo caso tranquillamente trascurato. Sempre in relazione alla dominanza antropica, invece, la differenziazione degli individui in base

(14) I tentativi di misurare l'informazione e i suoi flussi attraverso unità energetiche, monetarie (soprattutto nel caso dei sistemi antropizzati) o anche facendo ricorso a quelle che derivano dalla stessa teoria dell'informazione, non hanno portato a risultati sufficientemente soddisfacenti.

all'informazione culturale <sup>(15)</sup> da essi portata sembra avere un peso maggiore nel determinare l'instaurarsi di meccanismi retroattivi stabilizzatori. Se si analizza la natura più intima del *progetto città*, si può osservare che esso si fonda principalmente sull'interazione tra cittadini, attività e organizzazioni, che possono essere definiti come gli attori del sistema urbano, fisici i primi e giuridici gli ultimi due. Il sistema, dunque, risulta controllato e regolato attraverso la trasmissione di informazioni multiple fra attori, che rispondono a una trama articolata di mutue interazioni.

Ogni individuo risulta essere in possesso di una serie di attributi caratterizzanti, ad esempio l'età, il titolo di studio, la professione esercitata, il reddito, l'appartenenza religiosa o altro. Queste caratteristiche sono elementi carichi d'informazione che rendono conto della diversa specializzazione del singolo e sono in grado di condizionare le traiettorie dei flussi di materia, energia e informazione attraverso i quali l'individuo si mette in relazione con gli attributi degli altri attori, siano essi fisici o giuridici. È interessante notare come anche ogni attività e organizzazione abbia una propria specializzazione che rende possibile la divisione del lavoro e che, a sua volta, è espressione degli attributi degli individui che vi partecipano. Questi ultimi, almeno per il tempo in cui sono attivi in esse, agiscono secondo un obiettivo comune, per cui prendono parte a un insieme di attributi collettivi. In tal modo la specializzazione funzionale all'interno del sistema urbano si fonda sull'esistenza di uno spettro di categorie di attori basate sulla convergenza di attributi individuali, che si ritagliano nella città un proprio spazio di esistenza (questo, sì, interpretabile come nicchia) e possono dar luogo a un'analogia, quindi, con il ruolo che svolge una specie in un ecosistema naturale.

Nell'interazione tra attori che si verifica nel sistema urbano, in seguito a fenomeni di contatto, comunicazione, scambio e regolazione, viene a formarsi una trama complessa di relazioni basate sul trasferimento d'informazione. Questa rete è il risultato di meccanismi parzialmente spontanei (secondo interazioni che si danno a seguito di incontri casuali) e in parte guidata e favorita da meccanismi istituzionali e volontari, quali normative, regolamenti o azioni ritualizzate e codificate. Tale scambio intenso è favorito dalla presenza di una serie di reti (trasporti, relazioni economiche, sistemi di comunicazione, istruzione, diffusione dell'energia elettrica eccetera) che hanno l'effetto di moltiplicare le occasioni di contatto, quindi la complessità del sistema urbano.

L'aumento di complessità ha una ricaduta sulla stabilizzazione dell'ecosistema urbano, in quanto permette lo sviluppo di un insieme numeroso e vario di circuiti di controllo, di regolazione, che a loro volta favoriscono l'aumento della resilienza della città. Basti pensare alla suddivisione del lavoro come moltiplica-

---

(15) Per «informazione culturale» si intende quella porzione di informazione non contenuta nel patrimonio genetico degli individui. Essa si può estendere alla formazione ed esperienza del singolo, ma anche alla informazione contenuta negli artefatti (informazione statica) e nelle attività umane (informazione dinamica), come ad esempio attività economiche e organizzazioni/istituzioni.

tore occupazionale; alla coesistenza di più funzioni nello stesso intorno spaziale come strumento di contenimento dell'impiego di suolo; alla prossimità spaziale tra attori come condizione che permette un'erogazione più efficiente, in termini energetici ed economici, dei servizi urbani (trasporti, distribuzione dei servizi idrici, energetici, di raccolta rifiuti eccetera), che sono a loro volta dei meccanismi regolatori del sistema. Riducendo la distanza fisica tra gli attori, ad esempio, si accorcia il tempo necessario perché questi instaurino delle interazioni faccia a faccia e si riducono consistentemente i consumi energetici dedicati alla mobilità. Ancora, si rifletta solo a come il contatto tra attori diversi consenta uno scambio culturale <sup>(16)</sup> finalizzato allo sviluppo di nuove conoscenze e tecnologie guidate dalle esigenze della popolazione, tra cui quella di abitare in un ambiente salubre. La mutua conoscenza, infine, determina la maturazione di un senso di appartenenza a un contesto territoriale comune. Questo fatto permette lo sviluppo e il radicamento di un meccanismo cooperativo di controllo sociale della qualità dell'intorno spaziale nel quale gli attori insistono <sup>(17)</sup>.

In realtà, la misura della diversità andrebbe più propriamente espressa per unità spaziale, in quanto è l'*aumento della densità di diversità* a indicare il maggior grado di complessificazione di un sistema urbano, più che il valore della diversità in sé. Se favorito attraverso la selezione di attività funzionalmente varie e a impatto ambientale compatibile, un aumento di densità di diversità permette al sistema urbano di pervenire a un uso più efficiente delle risorse che entrano al suo interno.

Le applicazioni che derivano da questo insieme di considerazioni hanno molto a che vedere con la valutazione dei vantaggi che un modello di sviluppo spaziale urbano più denso (*città compatta*, identificabile in prima analisi con l'esperienza europea, in particolare con il modello mediterraneo, di cui Barcellona è un esempio emblematico) presenta rispetto a uno più lasso (*città diffusa*, si pensi alle città del Nuovo e del Nuovissimo Mondo, come possono essere Sydney o Los Angeles). A parità di superficie, una città compatta presenta un tasso di diversità, quindi un contenuto di informazione, di gran lunga superiore rispetto a quello di una città diffusa, come si può evincere dall'analisi della figura 4.

Dal punto di vista operativo, volendo dare un'applicazione concreta a questa trasposizione attraverso l'analisi di casi reali, ci si scontra inevitabilmente con ostacoli di natura varia. In genere, le serie di dati che si riesce a ottenere per caratterizzare gli attori e per ricostruire la distribuzione di diversità di una realtà urbana sono incomplete. Inoltre, tali dati spesso non risultano riferiti al livello di

(16) Un detto popolare americano dice che «se scambi un dollaro alla fine ciascuno ha sempre un dollaro, mentre se scambi un'idea alla fine ciascuno ha due idee».

(17) Il contatto plurimo e ripetuto tra attori fisici compresenti in un intorno spaziale, come può essere un quartiere, diminuisce la diffidenza nei confronti del prossimo, creando un senso di appartenenza e di identità in relazione al luogo che si condivide. Ciò determina una crescita di interesse nei confronti delle sorti della cosa pubblica. Si osserva, così, una maggior propensione a impegnarsi per migliorare le condizioni del proprio intorno, attraverso atteggiamenti cooperativi. In definitiva, si produce controllo sociale sul territorio, fenomeno che costituisce un importante meccanismo regolatore del sistema urbano.

specializzazione necessario per differenziare proficuamente i diversi attori <sup>(18)</sup>. A causa di ciò è più semplice calcolare la distribuzione sul territorio della diversità delle persone giuridiche (quali attività economiche, istituzioni, organizzazioni, enti erogatori di servizi), rinunciando a una rappresentazione completa dello spettro di diversità, ma mantenendo comunque una buona significatività nello sforzo interpretativo. I dati relativi alle persone giuridiche, infatti, sono reperibili attraverso il coinvolgimento delle principali istituzioni cittadine, tra cui pubblica amministrazione, camere di commercio, confederazioni di categoria eccetera.

Un'analisi della distribuzione di diversità delle persone giuridiche presenti in ambiente urbano è stata effettuata da S. Rueda per quanto riguarda il territorio comunale di Barcellona. Sulla scorta degli studi di Margalef relativi al ruolo dell'informazione negli ecosistemi, Rueda avanza la tesi per cui, conoscendo l'energia consumata da un sistema urbano ( $E$ ), che consente di mantenere un determinato livello di diversità  $H$ , si può stabilire se il sistema urbano si stia muovendo o meno verso una maggior stabilità, in base all'analisi nel tempo e nello spazio del rapporto  $E/H$  <sup>(19)</sup>. Se questa espressione diminuisce, a parità di  $E$  impiegata, vuol dire che il sistema aumenta il suo livello di complessità ed è in grado di fare un uso più efficiente della energia che lo attraversa.

Rueda misura la diversità delle persone giuridiche per ogni isolato della trama urbana di Barcellona (parcella spaziale presa come unità di riferimento), pervenendo alla redazione di una mappa di distribuzione di densità. Questa presenta, prevedibilmente, i valori maggiori nel centro urbano e nelle varie aree di nuova centralità promosse dalle politiche di sviluppo economico locale e i valori minori nelle aree monofunzionali, come i quartieri-dormitorio. Dal punto di vista operativo, a partire da questa distribuzione, attraverso un'analisi dettagliata dello spettro di diversità aggregato per i diversi quartieri in cui è suddivisa la città, è possibile cercare di stabilire quali eventuali attività ulteriori possano essere avviate in tali contesti, al fine di aumentare la complessità del sistema rispettandone la capacità di carico. Accoppiando, infine, questi risultati a uno studio sulla distribuzione spaziale dei consumi energetici, si potrebbe inferire su quali siano gli spettri di diversità più efficienti e su quali eventuali misure possano essere adottate per migliorare l'efficienza energetica della città.

*L'ecosistema urbano come parassita.* – Spostando l'attenzione sull'osservazione delle interrelazioni esistenti tra ecosistemi differenti, si può affermare che la

(18) Ad esempio, attraverso la dicitura «libero professionista» non si è in grado di apprezzare la distinzione tra un avvocato o un idraulico, che in termini di specializzazione funzionale appartengono a categorie ben diverse.

(19) Il rapporto  $E/H$  deriva dalla funzione

$$\frac{E}{\text{biomassa} + I}$$

utilizzata per stabilire l'efficienza energetica di un ecosistema. L'aumento di  $H$ , che concentra nello spazio unità dalle caratteristiche differenti, dà l'idea di una maggior prossimità fisica tra attori diversi.

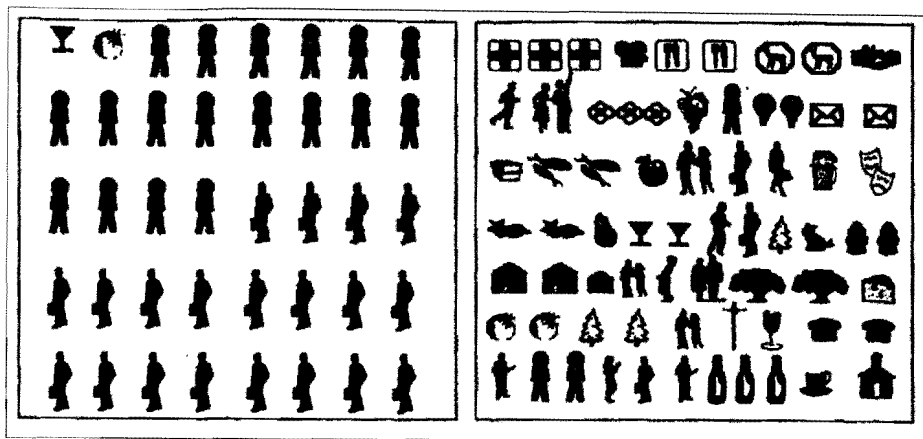


Fig. 4 – Confronto tra il carico d'informazione contenuto in due aree di uguale ampiezza appartenenti a una città diffusa (sinistra) e ad una città compatta (destra)

Fonte: Rueda (1999)

città adotta un comportamento *parassitario* sia nei confronti degli ecosistemi naturali sia di quelli gestiti (come ad esempio gli agroecosistemi), quando tale «aggressività» non venga rivolta verso altre realtà urbane. È quest'ultimo un fenomeno più noto sotto il nome di *competitività intermetropolitana*. Più grandi sono gli agglomerati urbani e più consumistico è il modello di vita in essi adottato, maggiore dovrà essere l'impegno degli ecosistemi circostanti <sup>(20)</sup> per poter funzionare come ospiti adeguati e soddisfare le richieste delle città. Tale comportamento parassita, però, risulta essere imperfetto rispetto alle caratteristiche riscontrabili nell'analogo mutualismo naturale. In natura, infatti, il parassita perfetto garantisce il proprio sostentamento attraverso una relazione equilibrata con il proprio ospite, prelevando da esso una quota di nutrimento senza mettere a repentaglio la sopravvivenza di quest'ultimo. Ciò, infatti, implicherebbe tutta una serie di problemi non triviali anche per il parassita stesso: dalla necessità di trovare un altro individuo ospite, fino alla sua stessa morte. Si osserva, invece, uno sbilanciamento tra le quote di risorse naturali acquisite dalla città e il tasso di ripristino di queste nei rispettivi ecosistemi di origine, fatto che facilmente determina la compromissione degli ecosistemi naturali a cui la città fa riferimento, con risvolti negativi per la qualità dei primi come per quella dell'ultima. Un discorso analogo può essere fatto per quanto riguarda il destino dei rifiuti prodotti nelle aree urbane, trasferiti per un loro stoccaggio – equivocamente chiamato «smaltimento» – in aree esterne alla città.

(20) Circostanti in senso lato, in quanto si è visto che possono anche essere fisicamente molto distanti, alla luce della grande capacità di movimentazione di materiale da parte dell'uomo.

Se, dunque, il benessere dell'uomo sembra dipendere in misura sempre maggiore dagli ecosistemi urbani e produttivi ai quali può fare riferimento, è anche vero che essi sono strettamente legati al mantenimento degli ecosistemi naturali. Una volta in più, la relazione tra sistema e intorno risulta essere centrale per il conseguimento di un modello di sostenibilità dello sviluppo.

Per far sì che questa relazione di scambio diventi reciprocamente vantaggiosa bisogna, innanzitutto, verificare che sia possibile uno scambio realmente proficuo tra sistema e intorno. In parte, ciò è già osservabile, in quanto nella città si sviluppano conoscenze che vengono impiegate per una gestione migliore degli ecosistemi, sia naturali sia gestiti. Per esempio, la città esporta in continuazione beni industriali e servizi che favoriscono il sostentamento e lo sviluppo delle società rurali. Allo stesso tempo, bisogna ridurre la richiesta di risorse ai *surplus* degli ecosistemi esterni, applicando in questi ultimi il principio del rendimento sostenibile. Infine, vanno ridotti i flussi di materiali da smaltire, potenziando lo sviluppo di tecnologie del riciclaggio, rispettando e ripristinando la capacità naturale di assorbimento degli ecosistemi ricettori.

*I meccanismi a feedback delle strutture urbane.* – Per garantire il mantenimento nel tempo della città, così come di qualsiasi altro sistema cibernetico, è determinante l'esistenza e la qualità di opportuni meccanismi autoregolativi. Anche sotto questo aspetto, la singolarità presentata dall'ecosistema urbano fa sì che vengano evidenziate delle caratteristiche particolari rispetto alla natura e al funzionamento dei *feedbacks* nei sistemi naturali.

Il fatto che la città sia interpretabile come una fenocopia comporta un suo funzionamento basato in maniera preponderante su meccanismi autoregolativi guidati dall'uomo. A causa della pressione antropica esercitata sull'ecosistema urbano, i meccanismi naturali di regolazione e controllo, infatti, se non coadiuvati dall'intervento umano, risultano aver perso integrità e proprietà, fino al punto di rivelarsi inutili oppure mutare in *feedback* di fuga. Valga a tale riguardo l'esempio costituito dalle zone umide naturali presenti negli ambienti urbani. Queste, un tempo, si rivelavano in grado di assorbire gran parte della pressione ambientale esercitata dalla immissione di inquinanti di origine antropica, esercitando un'azione fitodepurativa sui reflui contaminati, soprattutto in relazione all'abbattimento delle concentrazioni di nutrienti. Oggigiorno, invece, il carico inquinante eccessivo ha compromesso integrità e funzione depurativa di tali meccanismi, portando a un degrado della loro struttura, che può essere risanata solo attraverso l'intervento riparatore dell'uomo. È, questo, un fenomeno comune a tutti i servizi ecosistemici che il comparto naturale fornisce alle comunità umane <sup>(21)</sup>, servizi

---

(21) I servizi ecosistemici vengono definiti come i benefici che la popolazione umana deriva, direttamente o indirettamente, dalle funzioni degli ecosistemi. I più rilevanti per l'ambiente urbano sono: la regolazione dei gas atmosferici, la regolazione microclimatica, la riduzione del rumore, il drenaggio delle acque meteoriche, il trattamento dei reflui contaminati (fitodepurazione), la funzione culturale e ricreativa, la produzione alimentare e il controllo dell'erosione.

gratuiti ed efficienti, oggi schiacciati dalla pressione ambientale antropica, per riattivare i quali è necessario programmare costose operazioni di risanamento.

L'attuale stabilità del sistema urbano è garantita in larga misura, dunque, dalla presenza di meccanismi di regolazione e di controllo artificiali. È l'intervento di tali regolatori a permettere alle città di governare il flusso dell'energia esosomatica che le attraversa e di incanalare su traiettorie convenienti i percorsi dei flussi materiali. È questa, però, una forma di stabilità temporanea e insostenibile, in quanto l'immaturità ecologica del sistema urbano, che spreca molta energia e materia per dar luogo a un non conseguente aumento di complessità, origina un impatto troppo forte sul suo sistema di supporto, innescando continui *feedbacks* di fuga. È, ancora una volta, sull'interazione tra città e suo intorno che va costruita la capacità di riequilibrare i processi urbani verso un livello di sostenibilità, in quanto l'insieme dei meccanismi autoregolativi deve funzionare sia come stabilizzatore dei processi interni sia come stabilizzatore degli scambi con gli ecosistemi esterni. Si prospetta, quindi, un cambio di prospettiva non immune da sacrifici, poiché viene richiesto un forte impegno di progettualità da parte della comunità urbana, la possibilità di sostenere i costi delle trasformazioni e la capacità di individuare tutti i possibili sistemi di autoregolazione naturali e culturali (politici, economici, sociali, fisici e biologici) e di riattivare quelli danneggiati.

Analizzando più da vicino i regolatori artificiali che possono tornare utili alla causa della sostenibilità urbana, si evidenziano alcune peculiarità. Essi possono, in primo luogo, essere suddivisi in due grandi categorie: quelli di natura consapevole e quelli inconsapevoli. Tra i primi ricadono le istituzioni cittadine (pubbliche, private, organizzazioni, comitati eccetera); le produzioni di norme o regolamenti che abbiano un'incidenza diretta o indiretta sulle dinamiche urbane; gli incentivi di mercato volti a migliorare la qualità della vita urbana; i servizi e le tecnologie messe a disposizione per la massimizzazione dell'uso delle risorse e la minimizzazione degli impatti sui sistemi naturali. Tra i secondi, invece, vanno segnalati la diversità culturale e la specializzazione funzionale degli attori urbani che, attraverso il contatto, danno luogo a una rete di interazioni, come già si è visto, in grado di sviluppare un miglior controllo sul territorio (sulle sue dinamiche e sull'uso delle sue risorse) e un progresso tecnologico scientifico con ricadute anche in termini di *performances* ambientali. D'altro canto, si osserva che i regolatori artificiali sono elementi gerarchizzati, in quanto le modalità di azione di alcuni sono guidate e controllate dall'attività di altri. Al vertice della gerarchia sono posizionati gli enti deputati all'organizzazione degli enti meno complessi, dal raggio d'azione più limitato e/o più specifico. Tali meccanismi autoregolativi organizzativi di rango elevato sono rappresentati dalle istituzioni urbane o sovraurbane.

La definizione di un *pool* di meccanismi autoregolativi che comportano livelli crescenti di organizzazione istituzionale e di supporto tecnologico dovrebbe permettere alla città di attivare procedure di *governo ecologico* (energetico, dei cicli della materia, della biodiversità biologica e culturale), in grado mantenere la pressione della città sull'intorno al di sotto della capacità di carico di quest'ultimo e, contemporaneamente, di garantire uno standard elevato di qualità della vita nell'ambiente urbano.

*Il gradiente di antropizzazione.* – Riassumendo quanto finora esposto, il ricorso alla metafora ecologica quale strumento di indagine per i fenomeni che avvengono nell'ambiente urbano ha consentito di mettere in risalto alcune caratteristiche notevoli degli ecosistemi artificiali, tra cui il tipo di fonte energetica sfruttata a sostegno delle loro dinamiche, la tipicità del flusso energetico, la caratterizzazione del metabolismo, l'organizzazione funzionale del comparto biotico e le peculiarità dei sistemi regolativi che ne governano l'esistenza. Questa analisi schematica acquista maggior valore quando, per operare un esercizio comparativo, la si estende a diverse tipologie di ecosistemi, suddivisi secondo un gradiente di antropizzazione.

Come in altri campi di ricerca scientifica, la teoria dei gradienti è di fondamentale importanza anche in ecologia. Il gradiente di antropizzazione ha particolare valore nel permettere di analizzare e relazionare le modificazioni che l'uomo sovrappone alle dinamiche naturali, categorizzandone e quantificandone gli impatti. In altri studi, similmente, è stato fatto ricorso al *gradiente rurale-urbano* o al *gradiente di densità di popolazione* quale base di comparazione per struttura e funzione degli ecosistemi.

Tre sono le tipologie di ecosistema qui prese in considerazione per questa breve analisi. Disposte secondo un tasso crescente di influenza umana, esse sono: ecosistema naturale, agroecosistema ed ecosistema urbano.

Per quanto riguarda la diversità, nelle sue due forme biologica e culturale, si può affermare che nel passaggio da ecosistema naturale a ecosistema urbano si osserva una grande modificazione nel tasso di biodiversità, per cui più si va verso gli ecosistemi urbani, più il ruolo dell'uomo risulta predominante; il tasso di diversità culturale aumenta spostandosi da agroecosistemi a ecosistemi urbani. Anche attraverso queste considerazioni può essere messo in evidenza come la progressiva specializzazione delle funzioni che l'uomo può assumere, aumentando le nicchie culturali da esso occupate, dia luogo a un aumento della capacità di controllo sull'ambiente, surrogando il ruolo di controllo naturale esercitato dalla diversità biologica.

Facendo riferimento al tipo di fonte energetica utilizzata, è importante notare come, mentre l'ecosistema naturale fonda la propria alimentazione sull'energia solare, risultando pertanto autotrofo, l'agroecosistema ricava il proprio approvvigionamento energetico da un *mix* di energia solare, meccanica (animale e tecnologica) e chimico biologica (fertilizzanti, pesticidi eccetera), ponendosi in una situazione intermedia auto/eterotrofa. L'ecosistema urbano, invece, basa la propria alimentazione energetica essenzialmente sullo sfruttamento di combustibili fossili, risultando pertanto eterotrofico. Anche dal punto di vista del tasso d'informazione contenuto nel flusso di alimentazione energetica si può osservare come esso si distribuisca secondo un gradiente concorde al tasso di antropizzazione. Mentre, per quanto riguarda la direzione del flusso energetico – che nel caso dell'ecosistema naturale e di quello urbano risulta veicolato, rispettivamente, verticalmente e orizzontalmente – è interessante osservare come gli agroecosistemi occupino ancora una volta una posizione intermedia, facendo riferimento all'assimilazione di energia solare (chiaramente verticale) da parte di converti-

Tab. 2 – *Principali differenze tra ecosistemi naturali, agroecosistemi e ecosistemi urbani*

| - Gradiente di antropizzazione +                     |                                                                               |                                                            |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| + diversità biologica -                              | - diversità culturale +                                                       |                                                            |
| Ecosistema naturale                                  | Agroecosistema                                                                | Ecosistema urbano                                          |
| <i>Tipo di fonte energetica utilizzata</i>           |                                                                               |                                                            |
| energia solare a bassa concentrazione informazionale | energia solare + meccanica + origine mista (biologica + combustibili fossili) | combustibili fossili ad alta concentrazione informazionale |
| autotrofo                                            | auto/eterotrofo                                                               | eterotrofo                                                 |
| <i>Flusso energetico</i>                             |                                                                               |                                                            |
| verticale                                            | verticale veicolato orizzontalmente da convertitori biologici                 | orizzontale                                                |
| <i>Metabolismo</i>                                   |                                                                               |                                                            |
| circolare                                            | circolare selezionato da attività antropica                                   | lineare                                                    |
| chiusura dei cicli – sostenibilità                   | chiusura parziale                                                             | no chiusura dei cicli – insostenibilità                    |
| <i>Organizzazione funzionale</i>                     |                                                                               |                                                            |
| dominanza di una rete trofica                        | dominanza di una catena trofica semplificata                                  | dominanza di una singola specie                            |
| <i>Sistemi regolativi (omeostasi)</i>                |                                                                               |                                                            |
| meccanismi a <i>feedback</i> negativo                | <i>feedback</i> negativo regolato dall'apporto culturale                      | meccanismi a <i>feedback</i> positivo?                     |

tori biologici (le coltivazioni), poi distribuiti orizzontalmente sui mercati. In termini di metabolismo, invece, il passaggio da ecosistema naturale a ecosistema urbano implica una progressiva linearizzazione dei cicli della materia, in origine circolari. Tale fenomeno comporta una transizione da situazioni di sostenibilità ambientale verso dinamiche di insostenibilità. La chiusura parziale dei cicli riscontrata nell'agroecosistema è dovuta all'attività di selezione delle dinamiche naturali operata dall'intervento antropico allo scopo di asservire le risorse naturali alle necessità della specie umana. Questa osservazione indica come i percorsi dell'ambiente naturale siano diversi da quelli dell'ambiente antropizzato e come l'uomo sia in grado di condizionare completamente l'evoluzione di un si-

stema naturale. Anche l'analisi dell'organizzazione funzionale dei comparti biotici delle tre tipologie di ecosistema suggerisce una progressiva banalizzazione della dominanza lungo la direttrice che da ecosistema naturale va verso l'ecosistema urbano. Infatti, se nel primo caso la dominanza è affidata alle mutue relazioni dinamiche instaurate tra gli elementi della rete trofica – e nel caso dell'agroecosistema essa si è ridotta a una catena trofica semplificata in seguito allo sfruttamento antropico – nel caso dell'ecosistema urbano è chiaramente visibile il primato indiscusso di un'unica specie, quella umana.

Un'ultima riflessione, non per questo di minor importanza, può essere avanzata in relazione alle proprietà che i sistemi regolativi presentano in ciascun ecosistema. Pure in questo frangente si osserva come, nel caso naturale, l'ecosistema sia regolato da meccanismi cibernetici a *feedback* negativo (si pensi, ad esempio, ai cicli preda/predatore). Già nel caso dell'agroecosistema, invece, alla luce delle caratteristiche fin qui esposte, si può affermare che i meccanismi a *feedback* negativo presenti sono regolati dall'apporto culturale, che sopperisce a quanto la natura non è più in grado di governare in seguito alle modificazioni imposte dallo sfruttamento antropico <sup>(22)</sup>. Interessante notare, infine, come la linearizzazione dei flussi di materia nel caso dell'ecosistema urbano comporti necessariamente una scarsa presenza di meccanismi regolativi a *feedback* negativo, favorendo invece lo sviluppo di *feedbacks* positivi che risultano degenerativi per la stabilità del sistema stesso. È qui che l'intervento culturale deve concentrarsi, per fornire le risposte adeguate a posizionare l'ecosistema urbano in una condizione di stabilità controllata da meccanismi cibernetici, che determinino la spiralizzazione, se non proprio la chiusura, dei cicli metabolici. Come suggerito nel paragrafo precedente, si tratta di una problematica che può essere affrontata ridefinendo il ruolo e le attività delle istituzioni che sovrintendono alle dinamiche cittadine quali meccanismi retroattivi organizzatori. La tabella 2 riassume in maniera sintetica e comparata quanto esposto nel presente paragrafo.

*In definitiva.* – L'ecologia, dunque, può essere utilizzata come una metafora o un modello interpretativo per i processi socio-economici e fisici della città, vedendo la città stessa come un sistema complesso, interconnesso e dinamico. Ricorrendo a questa chiave di lettura, gli agglomerati urbani possono essere pensati come ecosistemi che influiscono sul sistema globale attraverso l'utilizzo di energia e di risorse, la produzione di rifiuti e le emissioni inquinanti; e sui sistemi regionali tramite i modelli d'uso del territorio e le pressioni sulle aree rurali circostanti.

Per uno sviluppo compatibile dei luoghi urbani con l'ambiente naturale globale – e, meglio, anche quello locale – bisogna necessariamente agire tenendo in conto le interazioni tra ambiente naturale e attività umane, così come quelle tra l'ecosistema città e il suo sistema di supporto.

(22) Si pensi, ad esempio, alle pratiche di rotazione delle coltivazioni, volte alla rigenerazione del terreno, oppure alla concimazione sistematica dei terreni.

Tre sono, in definitiva, le raccomandazioni a cui vanno ispirate le politiche di sviluppo sostenibile, secondo modelli imitativi delle dinamiche osservate nel mondo naturale: cercare una maggior chiusura del sistema città, attraverso la cicizzazione dei flussi materiali e attraverso un impiego più efficiente delle risorse energetiche; puntare alla minimizzazione degli impatti ambientali urbani attraverso l'integrazione delle attività dei diversi individui secondo uno schema di relazioni «trofiche», individuando uno spettro di attività coesistenti ottimale in relazione alla capacità di carico del territorio; correggere le distorsioni degenerative del sistema antropico attraverso l'erogazione di appositi e opportunamente potenziati servizi ecosistemici <sup>(23)</sup>.

Gran parte del risultato di tale sforzo dipenderà dalla capacità di organizzazione e di regolazione che le istituzioni pubbliche e private operanti in campo urbano saranno in grado di esprimere.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALBERTI M., V. TSETSI e G. SOLERA, *La città sostenibile. Analisi scenari e proposte per un'ecologia urbana in Europa*, Milano, F. Angeli, 1994.
- AYRES R.U., *Industrial Metabolism. Theory and Policy*, in R.U. AYRES e U.E. SIMONIS (a cura di), *Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development*, Tokyo, UNU Press, 1994 (CD-ROM).
- BENTIVEGNA V. e altri, *A Vision and Methodology for Integrated Sustainable Urban Development: BEQUEST*, in «Building Research and Information», Londra, 2002, 2, pp. 83-94.
- BETTINI V., *Elementi di ecologia urbana*, Torino, Einaudi, 1996.
- BOLUND P. e S. HUNHAMMAR, *Ecosystem Services in Urban Areas*, in «Ecological Economics», New York, 1999, 29, pp. 293-301.
- COSTA A., *Urban Metabolic Analysis*, in «Bulletin of the Italian Scientific Community in Australasia», Canberra, 2003, marzo, pp. 45-52 (<http://www.scientific.ambitalia.org.au/marzo03/costa.pdf>).
- COSTA A. e J. VAN DER BORG, *Cluster di attività e trasformazioni metropolitane post-industriali*, Bologna, Il Mulino, 2002 (collana «Fondazione ENI Enrico Mattei. Ambiente e Sviluppo»).
- COSTANZA R. e altri, *The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital*, in «Nature», Londra, 1997, 387, pp. 253-260 ([http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature\\_Paper.pdf](http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf)).
- DECKER E.H. e altri, *Energy and Material Flow through the Urban Ecosystem*, in «Annual Review of Energy and the Environment», Palo Alto, 2000, 25, pp. 685-740 (<http://arjournals.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.energy.25.1.685>).
- GHETTI P.F., *Elementi di ecologia*, Padova, CLUEP, 2002.

(23) Si pensi, ad esempio, alla possibilità di sviluppare *ex novo* in ambiente urbano spazi verdi ingegnerizzati per scopi fitodepurativi, come stagni o fasce ripuarie ricostruite.

- GIARINI O. e W. STAHEL, *The Limits to Certainty*, Higham, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- HAUGHTON G. e C. HUNTER C., *Sustainable Cities, Regional Policies and Development*, Londra, J. Kingsley, 1994.
- HUSAR R.B., *Ecosystem and the Biosphere. Metaphors for Human-induced Material Flows*, in R.U. AYRES e U.E. SIMONIS (a cura di), *Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development*, Tokyo, UNU Press, 1994 (CD-ROM).
- INDOVINA F., *La città sostenibile*, intervento alla conferenza *Sviluppo sostenibile: discipline a confronto* (10-11 febbraio 2003, Auditorium S. Margherita, Venezia).
- MARGALEF R., *Teoría de los sistemas ecológicos*, Barcellona, Entidad Editora Universitat de Barcelona, 1991.
- McINTYRE N.E., K. KNOWLES-YÁNEZ e D. HOPE, *Urban Ecology as an Interdisciplinary Field: Differences in the Use of «Urban» between the Social and Natural Sciences*, in «Urban Ecosystems», Amsterdam, 2000, pp. 5-24.
- NEWMAN P., *Sustainability and Cities: Extending the Metabolism Model*, in «Landscape and Urban Planning», Amsterdam, 1999, 44, pp. 219-226.
- PICKETT S.T. e altri, *A Conceptual Framework for the Study of Human Ecosystems in Urban Areas*, in «Urban Ecosystems», Dordrecht, 1997, 1, pp. 185-199.
- REES W.E., *Ecological Footprints and Appropriate carrying Capacity. What Urban Economics leaves out*, in «Environment and Urbanization», Londra, 1992, 2, pp. 121-130.
- REES W.E., *Urban Ecosystems. The Human Dimension*, in «Urban Ecosystems», Dordrecht, 1997, 1, pp. 63-75.
- REES W.E. e M. WACKERNAGEL, *Urban Ecological Footprints: Why Cities cannot be Sustainable – and why They are a Key to Sustainability*, in «Environmental Impact Assessment Review», New York, 1996, 16, pp. 223-248.
- RUEDA S., *Ecologia urbana. Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*, Barcellona, Beta Editorial, 1995.
- RUEDA S., *Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles*, Barcellona, Fundació Fòrum Ambiental, 1999.
- RUEDA S., *La informació. Una estratègia urbana per competir*, in *Barcelona metròpolis mediterrània*, 1, *La ciutat del coneixement*, Barcellona, Ajuntament de Barcelona, 2001, pp. 58-71.
- RUEDA S., *Barcelona, ciutat mediterrània compacta i complexa. Una visió del futur més sostenible*, Barcellona, Ajuntament de Barcelona, 2002.
- TERRADAS J., *Ecologia urbana*, Barcellona, Rubes, 2001 (collana «Monografies de Medi Ambient»).
- WOLMAN A., *The Metabolism of Cities*, in «Scientific American», New York, 1965, 213, pp. 179-190.
- ZANETTO G., *Informazione e significato in geografia. Note per un'ultima metafora*, in A. DI BLASI (a cura di), «L'Italia che cambia. Il contributo della geografia». *Atti del XXV Congresso Geografico Italiano (Taormina, 1989)*, Catania, Università di Catania, 1989, II, pp. 347-356.

URBAN ECOLOGICAL METAPHORS. – The present article explores the features of some stable ecological structures and compares them with those of the urban ones. Being highly efficient in recycling material flows, while exploiting a renewable energy resource (sunlight), such ecological structures represent a good example of a natural solution towards self-sustainability. Part of their dynamics could be taken as a term of reference for the environmental sustainability of anthropic systems. If a comparison is to be made, one should note that the urban structure is meant as a peculiar ecosystem, dominated by a single species (mankind), marked by great skills in transforming both resources and its own environment. By identifying the standpoint from which the anthropic system differs from the natural one, this analysis allows the introduction of a number of ecological metaphors, which are useful to interpret properly the urban environmental inefficiencies and used to suggest some possible pathways to cope with such issues.

*Università di Venezia «Ca' Foscari», Dipartimento di Scienze ambientali*

*alessandro.costa@feem.it*