

Stefano Menegat*

*Il metabolismo nel pensiero geografico:
il suo sviluppo e le prospettive future*

Parole chiave: metabolismo, ecologia politica, urbanizzazione planetaria, relazione di modellizzazione, MuSIASEM.

Il concetto di metabolismo è utilizzato in geografia da diversi decenni, anche se con significato mutevole. Il presente contributo propone una rassegna critica della letteratura geografica che ha impiegato il metabolismo come elemento chiave nello sviluppo di teorie, discorsi e pratiche. Dall'analisi emergono tre principali correnti, caratterizzate da differenti posture ontologiche: due di esse adottano il metabolismo come metafora, interpretativa o generativa, mentre la terza gli attribuisce un valore epistemico. Partendo da quest'ultima prospettiva, il lavoro mette in dialogo l'approccio epistemico con la definizione di metabolismo sviluppata nell'ambito della biologia relazionale. In conclusione, si evidenzia come tre concetti fondamentali – multiscalarità, impredicatività e anticipazione – possano contribuire a delineare un nuovo modello di “geografie metaboliche” per l'analisi qualitativa e quantitativa del territorio.

Metabolism in geographical thought: its development and future prospects

Keywords: social metabolism, political ecology, planetary urbanization, modeling relation, MuSIASEM.

The concept of metabolism has been used in geography for several decades, although its meaning has evolved over time. This paper presents a critical review of the geographical literature that has employed metabolism as a key element in the development of theories, discourses, and practices. The analysis identifies three main currents, each characterized by different ontological stances: two of them use metabolism as either an interpretative or generative metaphor, while the third assigns it an epistemic value. Building on this

* Dipartimento di Economia e Statistica “Cognetti de Martiis” Lungo Dora Siena 100 A, 10153 Torino; OMERO - Centro interdipartimentale di Urban & Event Studies, Università di Torino, stefano.menegat@unito.it.

Saggio proposto alla redazione il 21 ottobre 2024, accettato il 10 luglio 2025.

latter perspective, the paper establishes a dialogue between the epistemic approach and the definition of metabolism developed within relational biology. In conclusion, the study highlights how three fundamental concepts – multiscalarity, impredicativity, and anticipation – can contribute to shaping a new model of “metabolic geographies” for both qualitative and quantitative territorial analysis.

1. INTRODUZIONE. – Il dibattito sul rapporto tra società umane e natura attraversa, ormai da alcuni anni, una fase di crescente popolarità. La geografia è sicuramente uno degli ambiti accademici maggiormente sensibili a tale dibattito, che non solo ha influenzato l’evoluzione storica della disciplina (Bonati *et al.*, 2021), ma che sempre più la porta ad interrogarsi sulla molitudine di significati che connotano i concetti di ambiente e di natura a seconda dei diversi contesti sociali e culturali considerati (Bagliani e Dansero, 2011). In questo contesto, il concetto di metabolismo sociale, o socio-ecologico, ha conosciuto una notevole popolarità in geografia umana, una centralità che si è accentuata negli ultimi anni, e che aumenterà ancora in quelli a venire (Barua, 2024, p. 15). Ciononostante, in letteratura il termine metabolismo viene utilizzato in modi diversi a seconda delle diverse scuole di pensiero. In generale, il concetto di metabolismo è esplicitamente o implicitamente trattato come una metafora per la circolazione (o lo scambio) di materia ed energia tra la società e l’ambiente. Come sostengono Newell e Cousins (2015, p. 712), l’uso della metafora è importante in geografia in quanto “[...] we view the metaphorical process as fundamental to scientific theorizing”. Tuttavia, se da un lato autrici ed autori, come ad esempio Fischer-Kowalski (1998), affermano che la portata del termine metabolismo non sia riducibile alla semplice metafora ma contenga un intrinseco valore empirico, d’altro canto anche l’utilizzo del concetto come metafora fa emergere discorsi profondamente divergenti. Infatti, come si evince dalla letteratura, gli approcci teorici al metabolismo sono eterogenei, spaziando da quelli più prettamente empiricisti dell’ecologia industriale, a quelli basati sul realismo critico, il materialismo storico o il costruttivismo (Newell e Cousins, 2015).

Nel presente lavoro, si propone una rilettura dei principali quadri teorici adottati dalla disciplina geografica nel trattare il tema del metabolismo, ricostruendo così i discorsi formulati da diverse scuole di pensiero, evidenziandone i limiti e le potenzialità. Sulla base dei risultati di tale rassegna, si introducono due nuovi approcci al concetto di metabolismo, uno di carattere epistemologico, l’altro metodologico, e si propone una lettura innovativa di un filone di letteratura sino ad oggi escluso dagli studi geografici sul metabolismo. Il contributo è quindi organizzato nel seguente modo: la seconda sezione propone una catalogazione degli utilizzi del termine metabolismo in ambito geografico, arrivando a definire tre principali scuole di pensiero. La terza e la quarta sezione propongono una riflessione sul con-

cetto di metabolismo analizzando il quadro teorico sviluppato nell'ambito della biologia relazionale, evidenziandone le caratteristiche metodologiche ed epistemologiche. Infine, la quinta parte del contributo discute i possibili sviluppi derivanti dall'adozione di tale quadro teorico nell'ambito delle discipline geografiche.

2. GEOGRAFIA E METABOLISMI. – Il concetto di metabolismo trova uno sviluppo scientifico in senso moderno a partire dal diciannovesimo secolo, dapprima in biologia, per poi diffondersi rapidamente attraverso le scienze sociali (Fischer-Kowalski, 1998). Precursore di una prospettiva sociale, politica e geografica sul tema del metabolismo, il chimico agrario von Liebig fu tra i primi a sostenere una visione in cui la dimensione chimico-fisica del metabolismo delle piante e dei suoli veniva associata a specifiche trasformazioni di tipo politico, sociale e spaziale (Marchesi, 2020). A von Liebig si deve una delle prime formulazioni del concetto di “frattura metabolica” come la separazione temporale e spaziale tra gli ambiti della produzione (estrazione di nutrienti dai suoli agricoli delle regioni esportatrici di prodotti agricoli) e quelli del consumo (accumulo degli stessi nutrienti ma in forma di escrementi nelle aree densamente popolate, come le città) (von Liebig, 1848, pp. 116-117). Attraverso i lavori di von Liebig e successivamente di Jacob Moleschott viene quindi a configurarsi una visione della biologia come un processo con ramificazioni sociali, economiche e geografiche (Swyngedouw, 2006). Nelle scienze sociali il concetto di metabolismo assume sin dalle prime fasi un ruolo di rilievo, diventando un'analogia o metafora per l'organizzazione delle società (Padovan, 2000). Durante la seconda metà del diciannovesimo secolo esso acquista una vera e propria dimensione epistemica, grazie all'emergere della teoria storico-materialista (Fischer-Kowalski, 1998; Swyngedouw, 2006). Derivante dall'interpretazione fisiologico-materialista di Moleschott, il metabolismo in Marx ed Engels si riferisce all'interdipendenza materiale tra società e ambiente (o in altri contesti allo scambio di prodotti all'interno della società stessa) e non all'accezione moderna del termine, ovvero alla dimensione biochimica dei processi trasformativi che avvengono all'interno della cellula (Fischer-Kowalski, 1998).

In tale contesto, il concetto di metabolismo entra nel pensiero geografico soprattutto attraverso gli studi urbani, trovando una prima applicazione nell'analisi delle città industriali tra fine Ottocento e inizio Novecento. In *Cities in Evolution: An Introduction to the Town Planning Movement and to the Study of Civics*, Geddes (1915) propone una lettura dei processi di crescita delle città come “conurbazioni” che riuniscono l'espansione dei centri urbani e gli spazi rurali circostanti in un *continuum* organico. I lavori di Geddes, Mumford e Burgess, tra gli altri, costruiscono una base interpretativa di tipo organicistico per il futuro sviluppo dell'approccio metabolico in geografia (Gandy, 2025). Parallelamente ad una crescente attenzione verso questa tematica, nella seconda metà del ventesimo secolo si svi-

luppano diversi approcci allo studio del metabolismo come fenomeno geografico. Se da un lato, infatti, vi è stato lo sviluppo di una corrente di pensiero che ne ha esaltato, tramite la quantificazione e il formalismo, il suo significato processuale e trasformativo, dall'altro hanno acquisito spazio le interpretazioni ispirate alla tradizione Marxiana, a cui fanno riferimento diverse scuole di pensiero che hanno fatto del metabolismo una figura retorica (metafora) attraverso la quale leggere, storicamente e geograficamente, la materialità delle ineguaglianze, dei conflitti e delle asimmetrie di potere legate alla traiettoria evolutiva del processo capitalistico nel suo complesso. Per analizzare le differenze che contraddistinguono le principali scuole di pensiero che impiegano il concetto di metabolismo, è opportuno prendere in esame i presupposti teorici – in particolare di natura ontologica – sui quali tali approcci si fondano. Da tale analisi non emerge una sequenza cronologica lineare, né un'evoluzione progressiva del concetto, bensì una costellazione di prospettive teoriche che si sono sviluppate in maniera spesso parallela, intersecandosi e talvolta contrapponendosi in funzione dei contesti disciplinari e degli obiettivi di ricerca. In termini generali, è possibile distinguere tre principali orientamenti: un primo approccio, di matrice tecnico-ingegneristica, focalizzato sull'analisi quantitativa dei flussi materiali ed energetici; un secondo approccio radicato nella geografia umana, che si configura come ibridista-costruttivista; ed infine, una terza prospettiva, sempre nell'ambito della geografia umana, che può essere definita realista-relazionale. Pur non costituendo alternative esclusive né sintesi risolutive degli altri approcci, ciascuno propone una riformulazione teorica originale del concetto di metabolismo. L'analisi di seguito proposta ha l'intento di evidenziarne le specificità teoriche e le implicazioni epistemologiche al fine di chiarire i differenti modi in cui il metabolismo viene concettualizzato e mobilitato nella letteratura geografica contemporanea.

2.1 Approccio materialista-empiricista. – Un filone di letteratura che si potrebbe definire materialista-empiricista si occupa di metabolismo con il fine di descrivere e quantificare gli stock e i flussi di materia ed energia che attraversano il sistema Terra attraverso diverse scale geografiche (Baccini e Brunner, 2012). La centralità dell'analisi e della quantificazione dei flussi di materia ed energia introduce, a partire dagli anni Sessanta, il concetto di metabolismo nella disciplina geografica attraverso il lavoro di Wolman (1965) intitolato proprio *The metabolism of cities*. Tale approccio viene poi sviluppato, sempre nel contesto urbano, da ingegneri e fisici nell'ambito della nascente ecologia industriale, in particolare attraverso l'utilizzo dell'analogia con gli ecosistemi naturali per descrivere il funzionamento dei sistemi industriali (Ayres e Kneese, 1969). L'analisi dei flussi di materia (MFA) e, successivamente, le analisi energetiche ed energetiche e lo sviluppo di indicatori ambientali.

tali (Broto *et al.*, 2012) hanno prodotto negli anni una discreta quantità di ricerche nell'ambito di quella che Newell e Cousins (2015) definiscono la scuola del metabolismo urbano “tradizionale”. Esempi di ricerche recenti nel contesto italiano includono analisi della sostenibilità del comune di Albairate, nella città metropolitana di Milano (Scudo, 2016) o il lavoro di Tononi (2015), il quale, adottando la definizione di metabolismo elaborata da Newman (1999), fornisce una valutazione della sostenibilità ambientale di 4 città europee. Il concetto di metabolismo come insieme di flussi e stock di materia ed energia viene anche ripreso, a partire dagli anni Novanta, dalla scuola Viennese di metabolismo sociale per descrivere l'evoluzione di particolari sistemi socioeconomici nel tempo (Weisz *et al.*, 2001). Citando, tra gli altri, i lavori di Krausmann e Haberl (2002), Krausmann *et al.* (2003), Haberl (2006) e Fischer-Kowalski e Weisz (2016), Newell e Cousins (2015) sottolineano come il quadro teorico adottato per interpretare il rapporto tra società e natura sia radicato nella prospettiva dei sistemi sociali di autori come Luhmann, Boyden o Godelier. Nell'ambito degli studi sopracitati, viene dunque proposto un concetto di metabolismo che equivale a un costrutto allo stesso tempo empirico (cioè manifesto nel reale) e materiale (cioè misurabile tramite grandezze fisiche). Data questa caratteristica, il piano della realtà si limita dunque all'osservabile e al misurabile, eliminando ogni possibilità di estendere il focus dell'analisi metabolica dal piano metodologico a quello epistemologico. Ne consegue che il metabolismo sia riducibile a una totalità di processi tecnici e socioeconomici indipendenti dall'entità territoriale presa in considerazione (Barua, 2024; Smith e Katz, 2004). Sebbene diversi studi, alcuni dei quali differenziandosi dall'ecologia industriale per il minor ricorso ad approcci di tipo ingegneristico a favore di approcci bio-geochimici (Perrotti, 2020), abbiano contribuito allo sviluppo di politiche e interventi, persiste in letteratura una critica che paragona i lavori di questa corrente a dei meri “esercizi di contabilità” (Kennedy *et al.*, 2011, p. 1965). Come afferma Swyngedouw (2006, p. 33) a proposito dell'analisi empirica dei sistemi urbani, questo approccio “While insightful in terms of quantifying the urbanization of nature, it fails to theorize the process of urbanization as a social process of transforming and reconfiguring nature”. A partire da queste critiche, si sviluppa dunque una seconda scuola di pensiero che utilizza estensivamente il concetto di metabolismo per spostare la riflessione dall'aspetto puramente materiale alle condizioni economiche, sociali e politiche entro le quali i flussi metabolici sono organizzati: la scuola ibrido-costruttivista.

2.2 Approccio ibrido-costruttivista. – Se da un lato l'approccio empiricista al metabolismo ha aperto una riflessione sul ruolo dei sistemi sociali, in particolare con la scuola viennese, a partire dagli anni Novanta del Novecento si sono sviluppate diverse correnti teoriche che propongono una lettura del metabolismo socio-

ambientale come costruzione storica e politica (Broto *et al.*, 2012). L'attenzione analitica si è così progressivamente spostata dai soli flussi materiali ed energetici verso una considerazione più ampia delle dinamiche sociali (Gandy, 2004). In questa prospettiva, la distinzione tra realtà materiale e realtà sociale tende a dissolversi in un *continuum* ontologico, in cui elementi biofisici e sociopolitici “are assembled, entangled and transformed, and socio-natural cyborgs are produced” (Cook e Swyngedouw, 2012, p. 1966). Il metabolismo viene così assunto come categoria interpretativa utile a indagare le forme di potere che regolano l'accesso, l'uso e la distribuzione delle risorse (Buscher *et al.*, 2024; Swyngedouw, 2004; Swyngedouw e Heynen, 2003). In questo quadro si inserisce un'ampia produzione nell'ambito dell'ecologia politica urbana (Urban Political Ecology, UPE), che si concentra sulle disuguaglianze socio-ambientali e sulle asimmetrie di potere che le accompagnano (Bonati *et al.*, 2018; Heynen *et al.*, 2006; Kaika e Swyngedouw, 2000). In modo affine, ma con un'enfasi specifica sui conflitti ambientali, la corrente dell'*environmental justice* (EJ) propone una lettura multiscalare dei fenomeni, capace di connettere dinamiche locali e processi globali all'interno di una cornice coerente (Temper *et al.*, 2015; Martinez-Alier *et al.*, 2010). In quest'ottica, il metabolismo viene analizzato come esito di processi storici e socio-ambientali, che si manifestano sia a livello locale che sovralocale (Broto *et al.*, 2012). Sebbene molti autori facciano riferimento alla tradizione del materialismo storico, l'utilizzo del metabolismo come metafora di spazi ibridi in cui soggetti, oggetti, relazioni e materiali si compenetrano (Swyngedouw, 2006; Marvin e Medd, 2006; Newell e Cousins, 2015), riflette un'impostazione ontologica marcatamente costruttivista (Newell e Cousins, 2015, p. 715; Heynen *et al.*, 2006, p. 1). Il corpus teorico di riferimento si basa su una visione della natura come costruzione sociale (Castree e Braun, 2001; Castree, 1995), o come esito di assemblaggi eterogenei tra elementi umani e non umani (Latour, 1993), da cui derivano letture situate e spesso asimmetriche dei fenomeni (Haraway, 1988). Nonostante questo approccio abbia generato numerosi filoni di ricerca influenti, anche in ambito italiano (De Luca, 2024; Di Quarto, 2024; Loi, 2024; Armondi, 2017), esso è stato oggetto di critiche per la difficoltà nel rendere conto della complessità delle crisi contemporanee. Brenner (2013, p. 92) evidenzia, ad esempio, come molti studi di UPE tendano a interpretare il metabolismo urbano in termini di narrazioni situate e descrizioni dettagliate, a scapito di inquadramenti teorici più generali. Secondo questa lettura, il contesto geopolitico ed economico globale dei processi di urbanizzazione contemporanei viene talvolta trascurato o semplificato. Su questa base, i critici del costruttivismo individuano tre limiti ricorrenti: l'enfasi prevalente sugli aspetti sociali a discapito di quelli ecologici, l'adozione di una prospettiva eccessivamente urbanocentrica (l’“urban methodological cityism”, secondo Angelo e Wachsmuth, 2015) e un forte orientamento verso metodologie qualitative (Newell e Cousins, 2015). In questo

conto, il concetto di metabolismo viene impiegato soprattutto come metafora interpretativa, con un'efficacia limitata nel campo dell'analisi causale. Nel suo confronto critico con i lavori di Latour e Castree, Andreas Malm (2018) propone una lettura dei rapporti tra società e natura che è basata sulla distinzione tra dualismo sostanziale e dualismo delle proprietà: natura e società condividono la stessa origine materiale (visione monistica sul piano sostanziale), ma presentano caratteristiche distinte sul piano delle proprietà (visione dualistica). Secondo Malm, approcci costruttivisti e ibridisti, adottando un'ontologia monistica anche sul piano delle proprietà, faticano a cogliere efficacemente la dialettica tra natura e società. Un approccio realista-critico, sostiene l'autore, permetterebbe invece di mantenere una distinzione utile tra dimensione biofisica e dimensione sociale, favorendo un'analisi dei rapporti causali che danno origine a fenomeni socio-ecologici attraverso diverse scale geografiche, dal locale al globale.

2.3 Approccio realista-relazionale. – A partire da alcune critiche avanzate da posizioni di realismo critico, nell'ultimo decennio sono emerse diverse proposte teoriche che mirano a ripensare il concetto di metabolismo, insistendo sulla distinzione ontologica e sul riconoscimento epistemico delle proprietà materiali e immateriali dei processi ecologici e sociali. Da questa prospettiva prende forma un'operazione concettuale di “grounding metabolism” che, secondo Ibañez e Katsikis (2014, p. 6), “[...] mette in evidenza le tracce geografiche dei processi metabolici. Invece di uno spazio dei flussi continuo, etereo e malleabile, [esso] mira a rivelare un processo diverso, denso, pesante e prolungato di riorganizzazione metabolica della superficie terrestre, che opera a ritmi e scale differenti”¹. Qui, il metabolismo viene quindi inteso non più soltanto come metafora, ma come concetto dotato di dimensioni processuali e multiscalari. In questo quadro teorico, si passa da un uso generico e spesso metaforico del termine a una definizione più strutturata di sistema metabolico inteso come sistema vivente: una lente concettuale attraverso cui osservare e analizzare i livelli della realtà nei quali energia, materia e società interagiscono nella produzione storica dei territori (Arboleda, 2020a; Puttilli, 2014). Tale approccio si distingue da visioni deterministiche del passato per l'attenzione posta sulle condizioni politiche, economiche e sociali che co-determinano l'emersione dei processi metabolici e delle loro impronte spaziali (Ibañez e Katsikis, 2014). In modo analogo a come “la mappa non è il territorio”, si può sostenere che il metabolismo non rappresenti la realtà in sé, ma costituisca un modello analitico attraverso cui descrivere l'ecologia della vita sociale (Cederlöf, 2021). Nel campo degli studi sull'urbanizzazione, questa prospettiva emerge, sebbene implicitamente, dall'intuizione di Lefebvre nel teorizzare la realtà urbana come processo complesso, multi-

¹ Traduzione a cura dell'autore.

scalare e multidimensionale con implicazioni globali (Angelo e Wachsmuth, 2015). Ciò implica considerare la realtà urbana come un'astrazione concreta, nella quale le relazioni sociali e spaziali della riproduzione capitalista risultano territorializzate, generalizzate e universalizzate (Brenner, 2013). L'urbanizzazione assume, in questo contesto, i tratti di un processo metabolico che connette strettamente le città alle geografie non urbane – i cosiddetti paesaggi operazionali – che ne sostengono le ecologie, sia in termini materiali che politici (Arboleda, 2020a; Brenner e Kat-sikis, 2020). Il paesaggio operazionale viene così considerato parte integrante di un sistema metabolico planetario (Valz Gris, 2024; Arboleda, 2016). L'urbano e il non-urbano sono pertanto visti come elementi co-costitutivi di un metabolismo globale, concettualizzabile anche come ecologia-mondo (Moore, 2015). L'analisi metabolica si configura, in questo senso, come una forma di indagine epistemologica: uno strumento teorico per tracciare nessi causali tra fenomeni apparentemente distanti nello spazio (come il consumo urbano, le miniere, le discariche) e nella natura ontologica (energia, lavoro, macchine, capitale, conflitti) (Labban, 2014). Tale prospettiva intende superare sia i limiti del nazionalismo metodologico sia quelli dell'urbanismo metodologico (Arboleda, 2020b; Angelo e Wachsmuth, 2015), e propone un ripensamento critico di alcuni concetti chiave della geografia dello sviluppo in chiave planetaria. Come sottolinea Arboleda (2020a, p. 4), “[...] le determinazioni concrete che producono gli spazi di estrazione non sono relazioni di scambio ineguale e dipendenza, ma la produzione di plusvalore relativo su scala mondiale e la riproduzione della classe lavoratrice internazionale come un tutto frammentato, polarizzante, ma al tempo stesso unitario, o come un organismo industriale”² (corsivo nell'originale). In questo ambito, tuttavia, si rileva come nella letteratura sia ancora limitato il riconoscimento esplicito del potenziale epistemologico che una prospettiva realista-relazionale potrebbe apportare. È importante sottolineare come l'utilizzo del concetto di metabolismo nella letteratura sull'urbanizzazione planetaria o sull'ecologia-mondo non costituisca un approccio sostitutivo degli approcci costruttivistici o empiricisti. Si tratta piuttosto di una “nuova” forma di significato che tale letteratura, implicitamente o esplicitamente, assegna al termine, rendendolo così un oggetto di studio di particolare interesse. La visione realista-relazionale propone di intendere il metabolismo come modello causale piuttosto che metafora descrittiva, in grado di individuare ciò che il realismo critico definisce meccanismi causali e strutture generative (Bhaskar, 1988). Benché il processo di mappatura richiamato da questo approccio possa sembrare affine alla metaforizzazione proposta da Lakoff e Johnson (1980) – e discussa da Newell e Cousins (2015) – la differenza fondamentale risiede nel diverso ruolo attribuito alla causalità. Come si vedrà meglio nel paragrafo successivo, la costruzione di

² Traduzione a cura dell'autore.

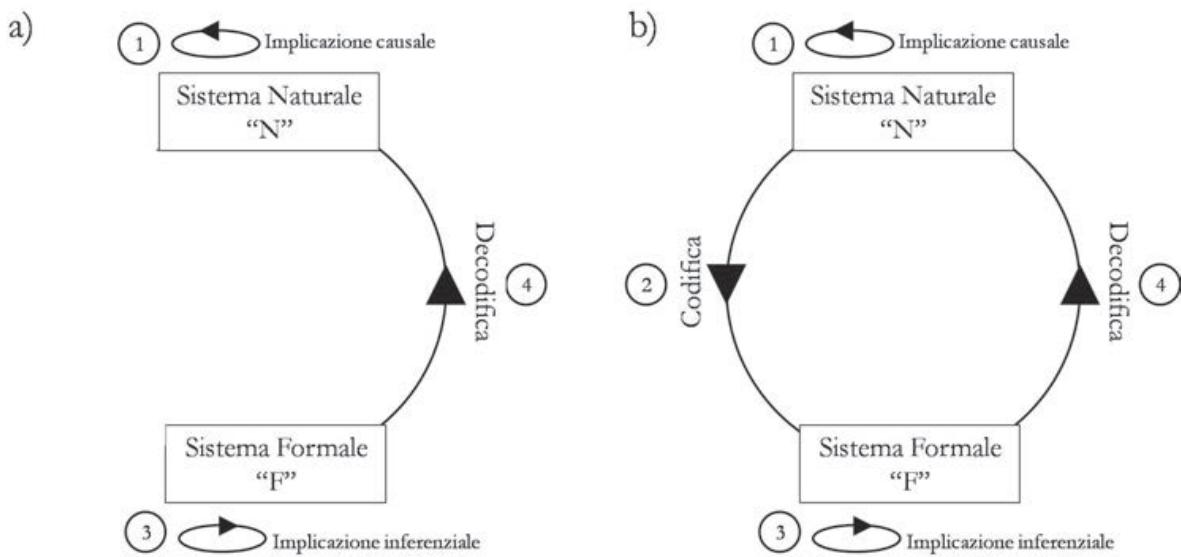
un modello concettuale può, in alcuni casi, produrre effetti conoscitivi distinti da quelli della metafora o del modello descrittivo, fino a delineare un vero e proprio processo di modellizzazione. Questo processo non solo descrive in modo puntuale la prospettiva realista-relazionale sul metabolismo, ma ne suggerisce anche possibili sviluppi futuri.

3. DALL'APPROCCIO REALISTA-RELAZIONALE ALLA RELAZIONE DI MODELLIZZAZIONE. – L'approccio realista-relazionale implicitamente concepisce il metabolismo come una griglia epistemica per indagare i nessi causali alla base di fenomeni geografici come l'urbanizzazione e l'operalizzazione dei territori. Autori come Arboleda (2016, 2020a) e Brenner e Katsikis (2020) interpretano contesti come le miniere come manifestazioni territoriali di una gerarchia di forze causali di tipo materiale (infrastrutture, tecnologia, lavoratori), formale (la miniera come struttura transnazionale), efficiente (la dialettica tra appropriazione e capitalizzazione) e finale (l'estrazione di un surplus ecologico e l'incremento del tasso di profitto). Questo approccio amplia il significato del termine “metabolismo” senza ricadere nel determinismo funzionalista (Marvin e Medd, 2006). Si configura così un modello concettuale della realtà in cui sistemi sociali e naturali condividono la stessa base materiale (monismo sostanziale), ma la conoscenza di tale realtà rimane un atto socialmente costruito (dualismo delle proprietà); un modello frutto di una relazione costante tra un sistema osservante e un contesto osservato di cui il sistema stesso è parte.

3.1 Oltre la metafora: metabolismo come modello. – L'accezione di metabolismo come modello acquisisce una dimensione epistemologica se interpretata nel quadro della biologia relazionale. Il lavoro del fisico teorico e biologo relazionale Robert Rosen ha apportato un contributo fondamentale con la formulazione della teoria della relazione di modellizzazione. Nella sua opera, Rosen decostruisce il concetto di “modello” come schema sintattico per la rappresentazione di sistemi semplici, per riformularlo in termini relazionali e dinamici, come schema semantico, per descrivere la modalità attraverso la quale i sistemi viventi operano nello spazio e nel tempo (Rosen, 2012). La relazione di modellizzazione³ è una relazione che si fonda sull'esistenza di almeno due sistemi, uno definito “formale” e l'altro “naturale” (fig. 1).

Da un punto di vista ontologico, i due sistemi fanno parte dello stesso ambiente, ma il sistema formale ne emerge come struttura autocosciente e dialogica, in costante relazione con l'insieme di relazioni percepito come esterno, detto sistema

³ Il termine “relazione di modellizzazione” è la traduzione, piuttosto letterale, del termine originario proposto dallo studioso americano: “modeling relation”.



Fonte: elaborazione propria basata su Rosen (1991, p. 60).

Fig. 1 - Schema costitutivo della metafora (a) e della relazione di modellizzazione (b)

“naturale”. Nella relazione di modellizzazione (fig. 1b), il sistema formale si reaziona con il sistema naturale tramite una funzione di codifica che interpreta le relazioni causali e le traduce in un quadro inferenziale; quest’ultimo, a sua volta, informa un processo di decodifica che rapporta l’apparato inferenziale ai meccanismi causali del sistema naturale. È in questa fase che si realizza una mappatura, in maniera simile a quanto elaborato da Lakoff e Johnson (1980), che permette al sistema formale di attribuire significato e senso al mondo che lo circonda. Tuttavia, sostiene Rosen, ciò non avviene solamente attraverso lo strumento della metafora (fig. 1a) ma anche del modello (fig. 1b). La differenza consiste nel fatto che il modello relazionale di Rosen include due relazioni fondamentali, la codifica e la decodifica, attraverso le quali il sistema formale acquisisce un certo tipo di conoscenza del contesto, mentre nel caso della metafora la funzione di codifica non è presente. Come sostiene il biologo americano: “Alla radice, tali metafore sono perseguite nella convinzione, o aspettativa, che possano effettivamente essere trasformate in modelli”⁴ (Rosen, 1991, pp. 65-66). Sebbene i sistemi metabolici siano spesso indagati attraverso l’uso di metafore (Rosen, 2012, p. 195), il limite della metafora emerge quando l’analisi mira a “spiegare” il perché un determinato sistema esista, ovvero quale sia la concatenazione di cause efficienti che attraverso multiple scale riconduce al sistema stesso. Il processo di codifica serve proprio a questo scopo.

⁴ Traduzione a cura dell’autore.

3.2 Metabolismo e relazione di modellizzazione. – In altri termini, i sistemi metabolici possono essere interpretati attraverso l’uso di metafore, ma la loro essenza dipende da relazioni di modellizzazione (Coffman e Mikulecky, 2012). Per tale ragione, l’indagine del metabolismo, anche in geografia, può andare oltre la “trasformazione”, lo “scambio” e i diversi significati esplorati dagli approcci materialisti-empiricisti e ibrido-costruttivistici, per entrare nelle rappresentazioni, nelle logiche, nei modelli, che i sistemi metabolici elaborano per la propria esistenza. Come argomenta Jason Moore (2015), l’ecologia-mondo capitalista non si configura come un processo ma è essa stessa un progetto metabolico. La ragione che sostiene tale prospettiva è simile al postulato epistemologico di Rosen, ovvero che tramite una relazione di doppia internalità, non solo il capitalismo (così come ogni sistema sociale) sia parte della natura, ma anche che la natura stessa entri come “surrogato” o come “modello” all’interno del capitalismo (da cui la distinzione tra “natura” e “Natura”, con l’iniziale maiuscola, che propone l’autore americano). Il riferimento specifico al termine “progetto” risulta approfondibile tramite un’altra argomentazione fondamentale per la prospettiva Roseniana sul metabolismo. Secondo l’autore, infatti, la conoscenza e la descrizione di un sistema metabolico (così come qualsiasi sistema vivente), si scontra con un limite epistemologico fondamentale, ovvero la condizione di chiusura alla causazione efficiente. In una delle sue opere principali (Rosen, 1991), il teorico americano propone una distinzione fondamentale tra sistemi meccanici e sistemi viventi: se i meccanismi risultano caratterizzati da una concatenazione di cause efficienti che è aperta verso l’esterno del sistema (ammettendo quindi che l’esistenza di un meccanismo sia sempre riferibile a un elemento o un agente esterno), nel caso degli esseri viventi ciò non avviene. Gli esseri viventi sono quindi sistemi “chiusi” in termini di causazione efficiente, poiché la relazione tra le parti è causa dell’organismo, così come l’organismo stesso è causa della relazione tra le parti. Un sistema vivente, in altri termini, implica se stesso, attraverso una relazione di tipo impredicativo, ovvero una relazione in cui non è possibile determinare la direzione di causalità. Lo scopo ultimo della relazione di modellizzazione impiegata per costruire un sistema formale descrivente un sistema vivente è quindi indagare come queste relazioni impredicative si manifestino attraverso combinazioni di componenti e funzioni generanti insiemi organizzativi auto-riferenziali. Il forte accento posto dalla teoria della relazione di modellizzazione sulla chiusura alla causazione efficiente e sulla rilevanza dell’analisi dello schema organizzativo, piuttosto che dei singoli componenti, si intreccia con una terza implicazione fondamentale per l’analisi dei sistemi metabolici: l’emergere di proprietà anticipative. A differenza dei sistemi reattivi, nei quali l’inferenza avviene solo a seguito di una codifica (schema azione-reazione), nei sistemi viventi ciò che avviene è sovente l’opposto, ovvero l’anticipazione di possibili futuri e la conseguente messa in atto di azioni atte a prevenire o realizzare determinate aspettative (Rosen, 2012;

Poli, 2017). Queste considerazioni permettono di sviluppare il concetto di “metabolismo come progetto” in profondità.

3.3 Metabolismo e riparazione. – La teoria della relazione di modellizzazione elaborata da Robert Rosen mette dunque in evidenza quattro proprietà fondamentali dei sistemi viventi: il loro carattere relazionale, la natura autoreferenziale, la struttura causale impredicativa e la loro capacità anticipatoria. Da queste caratteristiche deriva la definizione dei sistemi viventi come sistemi metabolici di tipo M-R, ovvero “metabolismo e riparazione” (Rosen, 2012). Secondo Aloisius Louie (2017, p. 22), un sistema M-R si esprime non solo attraverso flussi di materia ed energia, ma anche tramite un flusso continuo di informazione, che il sistema elabora per mantenersi, ripararsi e anticipare i cambiamenti futuri. Questi sistemi non reagiscono semplicemente agli stimoli esterni, ma sono in grado di costruire modelli predittivi interni. Per questo motivo, si può parlare di metabolismo come progetto: un processo attivo e finalizzato alla propria conservazione e trasformazione (Rosen e Kineman, 2012). Sebbene con presupposti differenti, anche l’approccio realista-relazionale alla geografia giunge a conclusioni simili nell’analizzare il capitalismo come sistema metabolico. In particolare, l’ecologia-mondo e la “prospettiva planetaria” studiano il capitalismo come progetto spaziale che integra gli ambiti di estrazione (le *commodity frontiers*) e quelli di riproduzione (le geografie dell’urbanizzazione, cfr. Brenner, 2013). Questi ultimi sono spazi storicamente costruiti per assorbire surplus di capitale e lavoro, e per sostenere la riproduzione continua del sistema (Huber, 2015; Lefebvre, 1991; Harvey, 1989). Questa lettura ha una forte valenza transcalare: si applica tanto alle città minerarie (Arboleda, 2016) quanto alle “miniere urbane” contemporanee (Labban, 2014). Produzione e riproduzione sono interpretate come forme di lavoro, che implicano flussi di energia endosomatica (dei corpi umani) ed esosomatica (delle macchine) (Puttilli, 2014). Il legame tra energia, tecnologia e lavoro è dunque essenziale per comprendere le relazioni tra sfera ecologica e sfera umana, tra urbano e operazionale, o tra metabolismo e riparazione. Modelli teorici come la miniera planetaria (Arboleda, 2020a), l’urbanizzazione planetaria (Brenner e Ghosh, 2022) o l’ecologia-mondo (Moore, 2015) si fondano su questo intreccio. In particolare, evidenziano come i processi di riparazione richiedano una costante capitalizzazione della natura per garantire l’accesso a risorse ed energia a basso costo. Ulanowicz (1997) definisce questa dinamica attraverso il concetto di iperciclo: un ciclo autoreferenziale e impredicativo, che ben descrive la relazione tra energia/lavoro/materia estratti e quelli impiegati per continuare l’estrazione. Arboleda (2020a) parla in proposito di superciclo, in riferimento ai cicli delle *commodities* minerarie. L’iperciclo ha dunque una dimensione fisica e spaziale (Cederlöf, 2021), che ne fa una chiave interpretativa per comprendere la capacità di un sistema metabolico di espandersi, coordinarsi e

autoripararsi. In conclusione, questa lettura offre un terreno fertile per un dialogo tra la geografia e la biologia relazionale. Resta tuttavia necessario esplorare quali strumenti metodologici possano fungere da ponte tra questi ambiti. Un possibile candidato è l'approccio metabolico sviluppato nell'ambito dell'ecologia dei sistemi e dell'economia ecologica, che integra le dimensioni trattate e che, finora, è stato poco considerato dalla geografia.

4. VERSO NUOVE GEOGRAFIE METABOLICHE. – Sono diversi gli autori che negli ultimi anni hanno evidenziato come stia divenendo sempre più rilevante sviluppare un quadro metodologico per lo studio del metabolismo capace di integrare dimensioni analitiche e dimensioni semantiche. Se da un lato autori della corrente ibrido-costruttivista, come ad esempio Cook e Swyngedouw (2012), propongono di sviluppare l'analisi dei flussi metabolici con il fine di evidenziarne la sincronia con la produzione di diseguaglianze e ingiustizie, ma senza rinunciare ad una visione ontologicamente “piatta”, dall'altro autori come Malm (2018) evidenziano come tale integrazione debba essere realizzata entro un quadro epistemologico radicalmente diverso. Tra le due posizioni vi sono numerose proposte, come quelle avanzate ad esempio da Barua (2024) e Broto *et al.* (2012), i quali propongono una forma di integrazione che mantenga le differenze ontologiche dei diversi approcci, oppure Cederlöf (2021) il quale sostiene la necessità di adottare un approccio termodinamico alla materialità dell'energia come filo conduttore in grado di legare la sfera fisica a quella sociale. Infine, Newell e Cousins (2015) auspicano il realizzarsi di una *cross-fertilization*, attraverso una “politizzazione” degli approcci analitici al metabolismo (quelli che sono stati definiti “materialisti-empiricisti”, come ad esempio la Scuola Viennese) e una simmetrica “materializzazione” degli approcci di ecologia politica (in particolare quella ibrido-costruttivista). Riprendendo lo schema logico sviluppato nei precedenti paragrafi, in conclusione si propone di riprendere la proposta di Newell e Cousins, ma attraverso un approccio metodologico sostanzialmente differente dalla tradizione di studi quantitativi di tipo materialista-empiricista. Si tratta, nello specifico, del metodo MuSIASEM, un metodo adottato in numerosi studi di economia ecologica ma passato inosservato in ambito geografico.

Con il metodo chiamato MuSIASEM (acronimo per *Multi-Scale Integrated Analysis of the Societal and Ecological Metabolism*), Mario Giampietro e Kozo Mayumi hanno proposto una vera e propria “grammatica” per l'analisi metabolica dei sistemi sociali. Per “grammatica” i due autori intendono quello strumento attraverso il quale diviene possibile mappare categorie semantiche (percezioni) e categorie sintattiche (rappresentazioni formali) (Giampietro *et al.*, 2011). Si tratta di un approccio che si distanzia dall'empiricismo, enfatizzando la struttura soggettiva (o socialmente costruita) dell'analisi formale (definizione del contesto, delle variabili,

dei nessi causali) ma ribadendo nel contempo il realismo delle “relazioni forzate” del mondo materiale (come ipercicli, vincoli fisici e termodinamici). A prescindere dalla scala oggetto di studio, l’approccio proposto si configura come quadro metodologico aperto a rappresentazioni non formali, in cui possono trovare spazio le narrative e le metafore di approcci votati all’analisi critica dei contesti territoriali e delle dinamiche di potere che li caratterizzano. La sua applicazione in ambito geografico permetterebbe di superare la dicotomia tra urbano e non-urbano, analizzando i territori come sistemi metabolicamente interdipendenti e funzionalmente integrati attraverso gli ipercicli. In tal senso, MuSIASEM offre strumenti utili per modellare le connessioni materiali tra infrastrutture, lavoro, tecnologia e consumo, evidenziando le dipendenze e le asimmetrie spaziali che strutturano la produzione e la riproduzione socio-ecologica. Inoltre, la capacità del metodo di distinguere tra flussi endosomatici (legati al lavoro umano) ed esosomatici (mediati da macchine e tecnologie), consente di mappare in modo preciso le configurazioni energetiche e organizzative che sorreggono la trasformazione territoriale. Il MuSIASEM può così contribuire ad arricchire l’analisi critica dei processi di urbanizzazione e di appropriazione ecologica, fornendo una base quantitativa alla modellizzazione concettuale del metabolismo come progetto. La sua struttura analitica, fondata su una visione relazionale e multi-scalare, risulta particolarmente compatibile con quelle prospettive geografiche che intendono leggere il metabolismo come espressione concreta dei processi materiali e organizzativi che articolano spazio, società e natura. La concezione di metabolismo del MuSIASEM, sebbene presenti molti tratti in comune con la visione realista-relazionale, può trovare fruttuose applicazioni anche nello sviluppo di approcci di tipo ibrido-costruttivista, inclusa la UPE. Numerosi sono in letteratura i casi-studio di realtà urbane, peri-urbane o rurali in cui il metodo MuSIASEM ha permesso di rilevare le dimensioni relazionali del metabolismo socio-ecologico. Alcuni esempi includono lo studio dei profili energetici e dei processi di pianificazione territoriale (Ariza-Montobbio *et al.*, 2014), l’analisi dei sistemi agro-alimentari locali in relazione a specifici profili di uso del suolo (Ravera *et al.*, 2014), la valutazione di politiche agro-alimentari in relazione alla geografia dei corpi idrici (Cabello Villarejo e Madrid Lopez, 2014), o ancora l’analisi multicriteriale dei processi di urbanizzazione in paesi in via di sviluppo (Siciliano, 2012). L’intersezione di tali approcci con le prospettive dell’ecologia politica (come, ad esempio, UPE ed ecologia-mondo) permetterebbe di incrementare il livello critico e la profondità delle analisi proposte, andando quindi in una direzione che alcuni autori definiscono come necessaria (Broto *et al.*, 2012; Newell e Cousins, 2014). Un esempio di applicazione del MuSIASEM in cui la prospettiva dell’UPE potrebbe apportare un notevole contributo, è il caso analizzato da Acevedo-De-los-Ríos *et al.* (2024), i quali hanno sviluppato una rappresentazione metaboli-

ca dell’insediamento informale di Ciudad de Gosen, uno dei 155 insediamenti del distretto di Lima in Perù. L’analisi condotta attraverso il MuSIASEM ha mostrato come ad un insieme di flussi di acqua, energia e rifiuti, corrisponda un costante flusso di energia umana (espressa in ore) verso la città. Tale flusso permette di evidenziare come traiettorie di sfruttamento del lavoro, squilibri di genere, impatti ecologici e struttura urbana siano metabolicamente interconnesse. D’altro canto, a mancare in questo studio, così come in altri, è un’attenta analisi delle strutture di potere che caratterizzano queste traiettorie di riproduzione sociale, ovvero l’analisi del metabolismo, in questo caso urbano, come progetto socio-ecologico. Un altro esempio di applicazione del MuSIASEM che potrebbe essere proficuamente integrato da una prospettiva di geografia critica, quale l’ecologia-mondo o la prospettiva planetaria, riguarda il caso di due comunità rurali (Tacaagl  e La Primavera) nel Nord dell’Argentina analizzato da Nancy Arizpe e colleghi (2014). Attraverso il metodo MuSIASEM lo studio evidenzia come l’espansione della coltivazione di soia transgenica abbia influenzato non solo i flussi economici, ma anche l’uso del suolo, l’organizzazione del tempo delle popolazioni locali e il loro grado di accesso alle risorse. L’introduzione delle monoculture ha ridotto il coinvolgimento diretto delle comunità nella produzione, aumentandone la dipendenza dal mercato e riducendo la variet  di attivit  tradizionali, come la coltivazione del mais in uno dei due villaggi e la caccia e la raccolta nell’altro. L’analisi metabolica mostra chiaramente una trasformazione nel profilo d’uso del territorio, con una diminuzione delle aree forestali e un aumento delle superfici agricole industriali, con effetti negativi sulla sostenibilit  ecologica e sull’autosufficienza alimentare. Inoltre, sebbene i flussi monetari legati alla soia siano stati elevati, essi hanno travalicato i confini metabolici delle comunità locali, confluendo in circuiti sovra-locali o internazionali. Nell’analisi di tale caso-studio, l’adozione della prospettiva “planetaria” o dell’ecologia-mondo potrebbe fornire una visione coerente di come il metabolismo locale sia simultaneamente elemento costituente e costituito di un progetto metabolico di scala pi  ampia.

In conclusione, il presente contributo dimostra come il concetto di metabolismo possa divenire uno strumento epistemico di notevole importanza per la geografia umana, con nuove opportunit  di sviluppo e di riflessione che si distaccano dalle interpretazioni metaforiche sino ad ora dominanti in letteratura. Il legame tra metabolismo, geografia e territorio si inspessisce di significati attraverso la forte propensione del modello proposto verso la multiscalarit . In tal senso, l’approccio metabolico pu  davvero fungere da legante per collocare stabilmente la dimensione ambientale al centro delle riflessioni geografiche (Banini, 2014), senza correre il rischio di ricadere in logiche puramente empiriciste o costruttiviste (Dematteis, 2003). Per il futuro sviluppo della prospettiva introdotta in questo elaborato, occorrerebbe dunque ampliare la riflessione sulle definizioni, i concetti e i metodi

proposti, testandone al contempo possibili applicazioni attraverso l'analisi di casi studio. In particolare, l'analisi delle geografie metaboliche attraverso la relazione di modellizzazione ed il MuSIASEM offre uno spazio concettuale entro cui approfondire la riflessione sulla territorialità "planetaria" (Dansero e Bagliani, 2005), sui territori come soggetti viventi ad alta complessità (Magnaghi, 2001) e, più in generale, sui limiti, i vincoli e le ereditarietà che definiscono l'evoluzione dei territori stessi (Dematteis, 2005). Si porrebbero così le premesse per lo sviluppo teorico e metodologico di quel filone di studi capace di adottare un punto di vista tanto realista quanto relazionale, che ad oggi appare essere il più promettente approccio teorico al metabolismo in geografia.

Bibliografia

- Acevedo-De-los-Ríos A., Chumpitaz-Requena F.R., Rondinel-Oviedo D.R. (2024). Analysis of urban metabolism in an informal settlement using the MuSIASEM method in Lima. *Cleaner Environmental Systems*, 13: 100189. DOI: 10.1016/j.cesys.2024.100189.
- Angelo H., Wachsmuth D. (2015). Urbanizing urban political ecology: A critique of methodological cityism. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1): 16-27. DOI: 10.1111/1468-2427.12105.
- Arboleda M. (2016). In the nature of the non-city: Expanded infrastructural networks and the political ecology of planetary urbanisation. *Antipode*, 48(2): 233-251. DOI: 10.1111/anti.12175.
- Arboleda M. (2020a). *Planetary mine: Territories of extraction under late capitalism*. Londra: Verso Books.
- Arboleda M. (2020b). From spaces to circuits of extraction: Value in process and the mine/city nexus. *Capitalism Nature Socialism*, 31(3): 114-133. DOI: 10.1080/10455752.2019.1656758.
- Ariza-Montobbio P., Farrell K.N., Gamboa G., Ramos-Martin J. (2014). Integrating energy and land-use planning: socio-metabolic profiles along the rural-urban continuum in Catalonia (Spain). *Environment. Development and Sustainability*, 16: 925-956. DOI: 10.1007/s10668-014-9533-x.
- Arizpe N., Ramos-Martín J., Giampietro M. (2014). An assessment of the metabolic profile implied by agricultural change in two rural communities in the North of Argentina. *Environment, Development and Sustainability*, 16: 903-924. DOI: 10.1007/s10668-014-9532-y.
- Armondi S. (2017). Crisi e sviluppo nella metamorfosi del modello spaziale metropolitano. In Balducci A., Fedeli V., Curci F., *Metabolismo e regionalizzazione dell'urbano. Esplorazioni nella regione urbana Milanese* (pp. 141-153). Milano: Edizioni Guerini e Associati.
- Ayres R.U., Kneese A.V. (1969). Production, consumption, and externalities. *The American Economic Review*, 59(3): 282-297.

- Baccini P., Brunner P.H. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Bagliani M., Dansero E. (2011). *Politiche per l'ambiente. Dalla natura al territorio*. Torino: Utet.
- Banini T. (2014). Tra il dire e il fare. Natura, pratiche umane e geografia. *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 7(XIII): 237-250.
- Barua M. (2024). Metabolic geographies: Work, shifts and politics. *Progress in Human Geography*, 49(2): 1-19. DOI: 10.1177/03091325241311914.
- Bhaskar R. (1998). Philosophy and scientific realism. In: Archer M., Bhaskar R., Collier A., Lawson T., Norrie A., a cura di, *Critical realism: Essential readings* (pp. 16-47). London: Routledge.
- Bonati S., Tononi M., Zanolin G. (2021). Social nature geographies/Le geografie e l'approccio sociale alla natura. *Rivista geografica italiana*, 127(2): 5-20. DOI: 10.3280/rgioa2-2021oa12029.
- Bonati S., Pietta A., Tononi M. (2018). Per un'ecologia politica della vulnerabilità urbana: il caso di Funchal-Madeira. *Rivista geografica italiana*, 125(1): 21-41.
- Brenner N. (2013). Theses on urbanization. *Public culture*, 25(1): 85-114. DOI: 10.1215/08992363-1890477.
- Brenner N., Ghosh S. (2022). Between the colossal and the catastrophic: Planetary urbanization and the political ecologies of emergent infectious disease. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 54(5): 867-910. DOI: 10.1177/0308518X221084313.
- Brenner N., Katsikis N. (2020). Operational landscapes: Hinterlands of the Capitalocene. *Architectural Design*, 90(1): 22-31. DOI: 10.1002/ad.2521.
- Broto V.C., Allen A., Rapoport E. (2012). Interdisciplinary perspectives on urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6): 851-861. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x.
- Buscher C., Minoia P., Bignante E., Sciuollo A., Padovan D. (2024). Repoliticizing community energy: geothermal energy development in rural East Africa. In: Bini V., Capocefalo V., Rinauro S., a cura di, *Geografia e ecologia politica: teorie, pratiche, discorsi* (pp. 27-34). Società di Studi Geografici. Memorie geografiche NS 24, 2024.
- Cabello Villarejo V., Madrid Lopez C. (2014). Water use in arid rural systems and the integration of water and agricultural policies in Europe: the case of Andarax river basin. *Environment, Development and Sustainability*, 16: 957-975. DOI: 10.1007/s10668-014-9535-8.
- Castree N. (1995). The nature of produced nature: materiality and knowledge construction in Marxism. *Antipode*, 27(1): 12-48. DOI: 10.1111/j.1467-8330.1995.tb00260.x.
- Castree N., Braun B. (2001). *Social Nature: Theory, Practice, and Politics*. Malden: Blackwell Publishers.
- Cederlöf G. (2021). Out of steam: Energy, materiality, and political ecology. *Progress in Human Geography*, 45(1): 70-87. DOI: 10.1177/0309132519884622.
- Coffman J.A., Mikulecky D.C. (2012). *Global Insanity: How Homo sapiens Lost Touch with Reality while Transforming the World*. Litchfield Park, AZ: Emergent Publications.

- Cook I.R., Swyngedouw E. (2012). Cities, social cohesion and the environment: towards a future research agenda. *Urban Studies*, 49(9): 1959-1979. DOI: 10.1177/00420980124448.
- Dansero E., Bagliani M. (2005). Verso una territorialità sostenibile: un approccio per sistemi locali territoriali. In: Dematteis G., Governa F., a cura di, *Territorialità, sviluppo locale, sostenibilità. Il modello SLoT* (pp. 118-145). Milano: FrancoAngeli.
- De Luca S. (2024). Metabolismo socio-naturale e regimi urbani: la produzione della socio-natura urbanizzata nelle valli Orco e Soana. In: Bini V., Capocefalo V., Rinauro S., a cura di, *Geografia e ecologia politica: teorie, pratiche, discorsi* (pp. 693-699). Società di Studi Geografici. Memorie geografiche NS 24, 2024.
- Dematteis G. (2003). La metafora geografica è postmoderna?. *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 5(VIII): 947-954.
- Dematteis G. (2005). I sistemi territoriali in un'ottica evoluzionista. In: Dematteis G., Governa F., a cura di, *Territorialità, sviluppo locale, sostenibilità. Il modello SLoT* (pp. 15-38). Milano: FrancoAngeli.
- Di Quarto F. (2024). Il governo urbano dell'acqua: ecologia politica ed evoluzione socio-ecologica delle reti idriche di Milano. *Rivista geografica italiana*, 131(2): 84-103. DOI: 84-103.0.3280/rgioa2-2024oa17810.
- Fischer-Kowalski M., Hüttler W. (1998). Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4): 107-136. DOI: 10.1162/jiec.1998.2.4.107.
- Fischer-Kowalski M., Weisz H. (2016). The archipelago of social ecology and the island of the Vienna school. In: Haberl H., Fischer-Kowalski M., Krausmann F., Winiwarter V., a cura di, *Social ecology*. Cham, CH: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-33326-7.
- Gandy M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*, 8(3): 363-379. DOI: 10.1080/1360481042000313509.
- Gandy M. (2025). Urban metabolism redux. *Urban Studies*, 62(8): 1483-1511. DOI: 10.1177/00420980251322663.
- Geddes P. (1915). *Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. Londra: Williams.
- Giampietro M., Mayumi K., Sorman A.H. (2011). *The metabolic pattern of societies: where economists fall short*. London: Routledge. DOI: 10.4324/9780203635926.
- Haberl H. (2006). The global socioeconomic energetic metabolism as a sustainability problem. *Energy*, 31(1): 87-99. DOI: 10.1016/j.energy.2004.04.045.
- Haraway D.J. (1988). Situated knowledges: The science question in feminism and the privilege of partial perspective. *Feminist Studies*, 14(3): 575-599.
- Harvey D. (1989). *The urban experience*. Johns Hopkins University Press.
- Heynen N., Kaika M., Swyngedouw E. (2006). *In the Nature of Cities. Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism*. Londra: Routledge.
- Huber M. (2015). Theorizing energy geographies. *Geography Compass*, 9(6): 327-338. DOI: 10.1111/gec3.12214.
- Ibañez D., Katsikis N. (2014). *New Geographies 06: Grounding Metabolism*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Kaika M., Swyngedouw E. (2000). Fetishizing the modern city: The phantasmagoria of urban technological networks. *International Journal of Urban and Regional Research*, 24(1): 120-138. DOI: 10.1111/1468-2427.00239.
- Kennedy C., Pincetl S., Bunje P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159(8-9): 1965-1973. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.10.022.
- Krausmann F., Haberl H. (2002). The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: Socioeconomic energy flows in Austria 1830-1995. *Ecological Economics*, 41(2): 177-201. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00032-0.
- Krausmann F., Haberl H., Schulz N.B., Erb K.H., Darge E., Gaube V. (2003). Land-use change and socio-economic metabolism in Austria – Part I: driving forces of land-use change: 1950-1995. *Land Use Policy*, 20(1): 1-20. DOI: 10.1016/S0264-8377(02)00048-0.
- Labban M. (2014). Deterritorializing extraction: Bioaccumulation and the planetary mine. *Annals of the Association of American Geographers*, 104(3): 560-576. DOI: 10.1080/00045608.2014.892360.
- Lakoff G., Johnson M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive Science*, 4(2): 195-208.
- Latour B. (1993). *We Have Never Been Modern*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lefebvre H. (1991). *The Production of Space*. [Prima edizione: 1974]. Oxford: Blackwell.
- Loi M. (2024). L'ecologia politica del bradford bypass. Connattività globale, politiche ambientali e intrecci socio-materiali di un progetto infrastrutturale in Ontario. In: Bini V., Capocefalo V., Rinauro S., a cura di, *Geografia e ecologia politica: teorie, pratiche, discorsi* (pp. 701-707). Società di Studi Geografici. Memorie geografiche NS 24, 2024.
- Louie A.H. (2017). Relational Biology. In: Poli R., a cura di, *Handbook of Anticipation*. Cham, CH: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-31737-3_17-1.
- Magnaghi A. (2001). *Rappresentare i luoghi. Metodi e tecniche*. Firenze: Alinea.
- Malm A. (2018). *The progress of this storm: Nature and society in a warming world*. New York, NY: Verso Books.
- Marchesi G. (2020). Justus von Liebig makes the world: Soil properties and social change in the nineteenth century. *Environmental Humanities*, 12(1): 205-226. DOI: 10.1215/22011919-8142308.
- Martinez-Alier J., Kallis G., Veuthey S., Walter M., Temper L. (2010). Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages. *Ecological Economics*, 70(2): 153-158. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.09.024.
- Marvin S., Medd W. (2006). Metabolisms of Obe city: Flows of fat through bodies, cities, and sewers. *Environment and Planning A*, 38(2), 313-324. DOI: 10.1068/a37272.
- Moore J.W. (2015). *Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital*. New York, NY: Verso.
- Newell J.P., Cousins J.J. (2015). The boundaries of urban metabolism: Towards a political-industrial ecology. *Progress in Human Geography*, 39(6): 702-728. DOI: 10.1177/0309132514558442.

Il metabolismo nel pensiero geografico: il suo sviluppo e le prospettive future

- Newman P.W. (1999). Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44(4): 219-226. DOI: 10.1016/S0169-2046(99)00009-2.
- Padovan D. (2000). The concept of social metabolism in classical sociology. *Theomai*, 2: 26-40.
- Perrotti D. (2020). Urban metabolism: old challenges, new frontiers, and the research agenda ahead. In: *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*. Amsterdam: Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-820730-7.00002-1.
- Poli R. (2017). *Handbook of anticipation: Theoretical and applied aspects of the use of future in decision making*. Cham, CH: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-31737-3_1-1.
- Puttilli M. (2014). *Geografia delle fonti rinnovabili. Energia e territorio per un'ecoristrutturazione della società*. Milano: FrancoAngeli.
- Ravera F., Tarrasón D., Siciliano G. (2014). Rural change and multidimensional analysis of farm's vulnerability: a case study in a protected area of semi-arid northern Nicaragua. *Environment, Development and Sustainability*, 16: 873-901. DOI: 10.1007/s10668-014-9531-z.
- Rosen R. (1991). *Life itself: a comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. New York, NY: Columbia University Press.
- Rosen R. (2012). *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations* (Vol. 1). London: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-1269-4.
- Rosen R., Kineman J.J. (2011). Relational Science: Towards a Unified Theory of Nature. In: Rosen R., a cura di, *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations* (pp. 399-419). New York, NY: Springer.
- Scudo G. (2016). Il metabolismo agro-alimentare come contributo alla progettazione di sistemi rur-urbani resilienti. *EyesReg Giornale di Scienze Regionali*, 6(5): 140-144. www.eyesreg.it/wp-content/uploads/Pdf/Volume-6-Numero-5.pdf#page=15.
- Siciliano G. (2012). Urbanization strategies, rural development and land use changes in China: A multiple-level integrated assessment. *Land Use Policy*, 29(1): 165-178. DOI: 10.1016/j.landusepol.2011.06.003.
- Smith N., Katz C. (2004). Grounding metaphor: towards a spatialized politics. In: Keith M., Pile S., a cura di, *Place and the Politics of Identity* (pp. 66-81). Londra: Routledge.
- Swyngedouw E. (2004). *Social power and the urbanization of water: flows of power*. New York: Oxford University Press.
- Swyngedouw E. (2006). The making of cyborg cities. In: Heynen N., Kaika M., Swyngedouw E., a cura di, *The Nature of Cities. Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism* (pp. 21-40). Londra: Routledge.
- Swyngedouw E., Heynen N.C. (2003). Urban political ecology, justice and the politics of scale. *Antipode*, 35(5): 898-918. DOI: 10.1111/j.1467-8330.2003.00364.x.
- Temper L., Del Bene D., Martinez-Alier J. (2015). Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas. *Journal of Political Ecology*, 22(1): 255-278. DOI: 10.2458/v22i1.21108.
- Tononi M. (2015). Immaginare, misurare e realizzare la sostenibilità urbana. Come le città europee diventano più verdi. *Rivista geografica italiana*, 122(3): 283-304.
- Ulanowicz R.E. (1997). *Ecology, the ascendent perspective*. New York, NY: Columbia University Press.

- Valz Gris A. (2024). Estrattivismo e urbanizzazione: diseguaglianze e conflitti nell'inserimento strategico del Salar de Olaroz. *Rivista Geografica Italiana*, 131(3): 31-52. DOI: 10.3280/rgioa3-2024oa18428.
- von Liebig J. (1843). *Familiar letters on chemistry and its relation to commerce, physiology and agriculture*. New York: D. Appleton and Co.
- Weisz H., Fischer-Kowalski M., Grünbühel C.M., Haberl H., Krausmann F., Winiwarter V. (2001). Global environmental change and historical transitions. Innovation: *The European Journal of Social Science Research*, 14(2): 117-142. DOI: 10.1080/13511610123508.
- Wolman A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3): 178-193.