

**29 e 30 Maggio 2019**

Udine - Palazzo Garzolini di Toppo Wasserman, via Gemona 92

**Conferenza dei Rettori delle Università Italiane - CRUI**

# **I MAGNIFICI INCONTRI CRUI 2019**

**“LE UNIVERSITÀ PER LA SOSTENIBILITÀ”**

## **SVILUPPO TERRITORIALE**

Paolo La Greca (Università di Catania), Antonio Leone (Università della Tuscia),  
Francesco Musco (IUAV di Venezia)

## **TAVOLO 3B SVILUPPO TERRITORIALE**

Paolo La Greca (Università di Catania), Antonio Leone (Università della Tuscia),  
Francesco Musco (IUAV di Venezia), Maurizio Tira (Università di Brescia)

### **Abstract**

La sostenibilità ambientale è ormai una guida per tante attività umane e praticamente tutte quelle che coinvolgono l'azione territoriale. È quindi necessario avere percorsi metodologici molto ben definiti perché questo tema possa essere coniugato nella prassi.

Lo sviluppo territoriale deve confrontarsi con questa esigenza, perché l'uso del suolo incide notevolmente sulla sostenibilità. Ad esempio, esso contribuisce a circa un quarto delle emissioni antropogeniche e limita fortemente l'incremento dei serbatoi di carbonio terrestri.

Paesaggio e territorio sono il terreno di incontro degli aspetti naturalistici, economici e sociali, per cui coinvolgono sia gli ecosistemi che i cittadini, le loro associazioni e i decisori. Per questo è fondamentale il ruolo sociale e di sviluppo che le Università possono svolgere, oggi interpretata dalla cosiddetta Terza Missione, che si affianca alla tradizione della ricerca e della formazione.

Se ci si sofferma sul significato del termine sostenibilità, emerge il suo essere duale: definita dal "carico" per il sistema ambientale e territoriale (l'entità dell'azione antropica) e dalla capacità di resistenza, per caratteristiche intrinseche del sistema stesso. Ne consegue la natura relativa e sito-specifica della problematica e, quindi, perseguire la sostenibilità significa avere profonda conoscenza delle interazioni fra azione e caratteri specifici, cui le metodologie di studio e azione devono sapersi adattare.

Il concetto di entropia promette molto su questo piano perché segnala con grande chiarezza che non esiste un'azione-impatto ambientale assoluto, positivo o negativo che sia, perché questo va sempre rapportato allo cui si manifesta. Non tutte le azioni sono quindi identiche e le loro conseguenze sono molto variabili, a seconda delle specificità.

In questi casi, quindi, pensare in modo uniforme e lineare è decisamente fuorviante, occorre riferirsi alla complessità.

## **La valorizzazione della ricerca e la produzione di beni pubblici di natura sociale, educativa e culturale**

Nonostante gli alti e bassi nelle prassi, la “società della conoscenza” è un’esigenza ormai riconosciuta, che si concretizza, sin dalla pronuncia del Consiglio Europeo di Lisbona del marzo 2000, nell’obiettivo strategico dell’Unione Europea di sviluppare un’economia basata sulla qualità, in grado di realizzare una crescita sostenibile con nuovi e migliori posti di lavoro e una maggiore coesione sociale. Questa stessa definizione richiama il ruolo delle Università, nella triplice veste che hanno assunto: accanto alle “tradizionali” di ricerca, innovazione e formazione, esse sono chiamate a un ruolo ancora più impegnativo, che coinvolge la sfera sociale, attraverso la Terza Missione, ovvero l’insieme delle attività di trasferimento tecnologico finalizzate allo sviluppo, anche commerciale, di tecnologie sviluppate nell’ambito dei progetti di ricerca condotti dal mondo accademico e, più in generale, alla gestione della proprietà intellettuale in relazione con gli stessi progetti.

Una seconda modalità di interazione tra mondo della ricerca e società, quella cui ci interessiamo nell’ambito di questa memoria, è denominata da Anvur “terza missione culturale e sociale” e riguarda la produzione di beni pubblici che aumentano il generale livello di benessere della società, aventi contenuto culturale, sociale, educativo e di sviluppo di consapevolezza civile.

La necessità di tale missione è anche data dall’emergere di problematiche complesse, fra cui quella della sostenibilità ambientale è fondamentale, perché è elevato (e ricorrente) il rischio dell’uso retorico e di facciata del concetto.

Sono quindi necessari due approfondimenti: una definizione generale e replicabile a tutti i livelli (che poi è uno dei fondamentali della scienza) di sostenibilità e la relativa comunicazione, che si preoccupi della cosiddetta *Responsible Research and Innovation*, prevista anche nel programma europeo di finanziamento alla ricerca Horizon 2020. Approfondimenti comunque strettamente legati, perché il secondo dipende dal primo.

La presente memoria, sulla base di esperienze tipiche della ricerca applicata in atto negli atenei, focalizza l’attenzione su questa interrelazione.

## **La sostenibilità nell’Agenda 2030**

L’analisi dell’Agenda ONU 2030 per lo sviluppo sostenibile mostra chiaramente la forte integrazione fra i vari obiettivi che essa propone, soprattutto quelli legati alla sostenibilità ambientale (obiettivo 11).

Per essi, città e paesaggio hanno un ruolo fondamentale e, perciò, nella presente memoria si riportano alcune riflessioni ed esempi concreti su come la pianificazione, urbana e territoriale, può declinare le esigenze manifestate dall’Agenda che, per altro, al punto 11.b, anticipa addirittura la propria scadenza al 2020 per l’adozione di *«piani e politiche che favoriscono l’inclusione, l’efficienza d’uso delle risorse, la mitigazione e l’adattamento al cambiamento climatico, la resilienza ai disastri naturali»*.

La chiave è l’analisi e la comprensione degli effetti ambientali dell’uso del suolo, quindi la loro interazione, che è sempre specifica, per cui l’impatto è generato dalle caratteristiche ambientali e di carico antropico che di volta in volta si manifestano. Ne scaturisce chiaramente la relatività del

concetto operativo di sostenibilità illustrata nell'introduzione.

L'uso del suolo e la sua gestione e governo sono quindi fondamentali e meriterebbero maggiore attenzione, perché molti dei processi da cui scaturiscono gli obiettivi di sostenibilità evocati dall'Agenda ONU sono in primis originati dagli assetti territoriali.

Alcuni esempi in tal senso:

**Obiettivo 11.5:** *«By 2030, significantly reduce the number of deaths and the number of people affected and substantially decrease the direct economic losses relative to global gross domestic product caused by disasters, including water related disasters, with a focus on protecting the poor and people in vulnerable situations».*

In questo caso problematiche prioritarie sono conseguenza del rischio idrogeologico e quello di inquinamento. L'uso del suolo influenza fortemente il ciclo delle acque ed il microclima. È ovvio, in primis, che la copertura urbana rende praticamente impermeabile e non evapo-traspirante il suolo, moltiplicando l'effetto delle piogge in termini di rischio idrologico e l'effetto delle temperature estive sul benessere e la salute. Su questo tema esiste una vasta letteratura, cui alcune scuole italiane di pianificazione hanno dato importanti contributi (vedi bibliografia). Si stanno, ad esempio, sempre più affermando tecniche di mitigazione basate sull'uso del suolo (vedi le cosiddette *Nature Based Solutions*) finalizzate alla prevenzione dei problemi e a coadiuvare, nel *problem solving*, le tradizionali opere strutturali, con le loro soluzioni a posteriori. Per altro, occorre ricordare due aspetti fondamentali a favore delle prime (che poi è la soluzione "paesaggistica"): i minori costi e le funzioni multiple, tutte sinergicamente positive.

Esiste poi un altro aspetto meno noto, evidenziato da un recente studio comparso su *Nature* (Zahng et al., 2018) che rafforza ulteriormente il ruolo centrale dell'analisi di uso e copertura del suolo. Gli autori dimostrano come la città possa acuire l'intensità di pioggia generata dalle grandi perturbazioni atmosferiche. Infatti, la particolare resistenza fluidodinamica che la struttura urbana offre al moto delle masse d'aria crea celle di condensazione locali, capaci di scaricare al suolo enormi quantità di pioggia, molto maggiori di quelle che si avrebbero sul territorio rurale.

A scala di paesaggio, poi, è da considerare il ruolo dell'agricoltura intensiva, che tende a sterilire e rendere meno permeabile il suolo coltivato (Leone, 2011). Essendo la copertura agricola del territorio di gran lunga prevalente su quella urbana, il suo effetto ponderale sul consumo di suolo è preminente e, quindi, la stessa definizione di consumo di suolo (vedi i vari Rapporti ISPRA sull'argomento, l'ultimo del 2018) andrebbe estesa, per una valutazione più complessiva di questo processo fondamentale per la prevenzione dei dissesti (Leone et al., 2019).

Di conseguenza, l'uso del suolo coinvolge appieno tutti i fattori del rischio idrogeologico, così come definito ufficialmente, dalla normativa italiana (D.L. 180/1998). Come è noto, questa legge definisce il rischio come prodotto formale di pericolosità, vulnerabilità e valore esposto. Se questi ultimi due fattori sono diretta conseguenza dell'uso del suolo (soprattutto l'edificato), la pericolosità, ovvero la frequenza di accadimento dei fenomeni, oltre che da processi ambientali (il clima e le piogge) è influenzata dal territorio: se questo è meno permeabile, la suddetta frequenza aumenta, perché, a parità di pioggia, aumenta l'effetto al suolo di quest'ultima, ovvero il rischio di allagamenti e dissesti. Esso quindi un esempio concreto di dualità del concetto di sostenibilità.

**Obiettivo 11.6:** *«By 2030, reduce the adverse per-capita environmental impact of cities, including by paying special attention to air quality and municipal and other waste management».*

In questo caso è principalmente coinvolta la città, il cui assetto fisico, anche questa volta, ha un ruolo importante, anche se finora poco riconosciuto, nella determinazione dell'effettiva entità degli impatti.

Il fenomeno più noto è l'Isola Urbana di Calore (IUC), ovvero l'innalzamento di temperatura dell'ambiente urbano rispetto alla campagna circostante, che moltiplica i già preoccupanti effetti del riscaldamento globale. Anzi, sul piano quantitativo, l'IUC è ben più rilevante del peggiore degli scenari di riscaldamento globale prefigurati dall'IPCC della stessa ONU.

L'IUC non solo peggiora il benessere dei cittadini, ma arriva a mettere a rischio la salute di anziani e persone cagionevoli dal punto di vista respiratorio e cardiaco, rischio che, nei casi più gravi (ondate di calore) coinvolge la stessa sopravvivenza di questi soggetti. Il problema è ormai accertato scientificamente anche sul piano medico, come si osserva da numerosi articoli, vedi quelli pubblicati da *The Lancet* (Rydin et al., 2012; Watts et al., 2015). Sono d'altra parte note le statistiche epidemiologiche europee sulle decine di migliaia di morti anticipate causate dalle ondate di calore dell'estate del 2003, ripetutesi poi nel 2015 e 2017.

Conseguenza della creazione di questo specifico microclima urbano è l'uso sempre più massiccio del condizionamento estivo degli edifici, che incrementano i consumi di energia e le emissioni di CO<sub>2</sub> e, inoltre, aumentano la stessa IUC, trattandosi di impianti a pompa di calore.

La IUC dipende dalle caratteristiche termiche (albedo ed emissività) delle strutture urbane, dalla loro geometria (formazione e dimensioni dei rapporti fra edifici e spazi aperti e strade), dal traffico veicolare e dal condizionamento degli edifici. Da ciò scaturiscono le strategie di controllo del fenomeno, eminentemente basate sulla gestione della città. Non a caso l'Agenda ONU anticipa le opportune politiche già dal 2020 (vedi punto 11b).

Evidente appare il legame tra clima locale, struttura urbana ed effetto isola di calore, con l'obiettivo di orientare gli interventi sul territorio, mediante linee di indirizzo. Solitamente le cause che generano le isole di calore urbane sono dei fattori puntuali (come ad esempio grandi superfici pavimentate) relazionati direttamente con fattori sistemici estesi (come la dispersione notturna del calore assorbito dai tessuti urbani periferici, o l'inquinamento prodotto dalle aree produttive, sempre in periferia). Questa pluralità di cause obbliga a studiare l'isola di calore a diversi livelli, sia orizzontale che verticale. Il modello espresso da Oke (2006) suggerisce di approcciarsi al fenomeno analizzando il clima urbano a diverse scale, in quanto a tali livelli corrispondono disuguali eventi climatici, che si influenzano a vicenda (Musco, et al. 2015a).

Molto possono quindi fare gli standard urbanistici, i piani attuativi ed i regolamenti edilizi, favorendo colori, materiali e geometrie ottimali, ma, ancor più, valorizzando il ruolo strategico del verde urbano, per altro considerato dallo specifico obiettivo 11.7 dell'Agenda ONU: *«By2030, provide universal access to safe, inclusive and accessible, green and public spaces, in particular for women and children, older persons and persons with disabilities».*

Il verde deve diventare sistema, con dignità almeno pari a quella delle altre infrastrutture.

Il verde-infrastruttura è fattore metabolico, fegato e polmoni della città, per cui è da superare il concetto di semplice fattore di amenità, luogo di svago romantico, ieri lusso per nobili, oggi

contentino per ambientalisti, che spesso si trasforma in maquillage. Questo perché il verde influenza numerosi e fondamentali processi: incrementa la permeabilità idrologica e l'evapotraspirazione, riducendo il rischio idraulico e abbassando la temperatura in caso di picco di calore, cosa che porta a ridurre i consumi energetici e, quindi, le emissioni di CO<sub>2</sub>. Inoltre, lo stesso sistema incrementa la biodiversità e la rete ecologica e, quelli testé citati, sono processi sinergici unidirezionali, con *feed back* tutti positivi, che, per altro, non intaccano la funzione di svago e tempo libero, anzi sono una spinta all'incremento e diffusione degli spazi *green*.

Di conseguenza, coltivare a verde contesti urbani è una sfida tecnologica e organizzativa d'avanguardia assolutamente prioritaria ed i nuovi standard urbanistici dovrebbero considerare i processi in chiave di servizio ecosistemico, essendo per altro ampiamente disponibile e maturo il *know-how* (Leone et al., 2015; Pappalardo et al., 2017 ecc.).

La progettazione di infrastrutture verdi urbane, così intesa, diventa un volano per adattare i sistemi urbani e territoriali ai cambiamenti climatici. Si attribuisce infatti a una rete di spazi naturali e seminaturali una buona capacità di rendere il territorio più resiliente: se ben progettate, le infrastrutture verdi possono mitigare gli effetti delle alluvioni e contenere i crescenti fenomeni di siccità, migliorare la qualità delle acque e dell'aria e favorire efficacemente la tutela del suolo e il contrasto del dissesto idrogeologico. Tutto questo garantendo la filtrazione dell'aria, la protezione dall'erosione, la regolazione dei flussi d'acqua, la tutela delle coste, il mantenimento della struttura del suolo, lo stoccaggio di carbonio. I molteplici vantaggi delle infrastrutture verdi sono stati evidenziati anche nella strategia europea per le infrastrutture verdi pubblicata lo scorso anno (EU, 2013). Ad esempio, nelle città gli alberi e le aree verdi possono impedire inondazioni, ridurre l'inquinamento atmosferico e limitare i livelli di rumore. Inoltre, l'utilizzo di sistemi naturali spesso può essere più economico e più resistente di una struttura *hard* artificiale.

Non va sottaciuto che anche la gestione degli spazi aperti privati svolge un ruolo determinante sulla presenza e sull'intensità dell'isola di calore urbana. Nelle nostre città, dipendendo dalla tipologia di insediamento, una porzione importante di territorio non coperto da edifici risponde a un regime di proprietà privata che spesso raggiungono 1/3 delle superfici urbane. Risulta evidente che la gestione di queste superfici acquisisce particolare rilevanza nella mitigazione dell'effetto isola di calore. In questo caso, però, anche una semplice soluzione tecnica (aumento della superficie verde e aumento della riflettanza delle superfici impermeabili) deve trovare una valida giustificazione di tipo gestionale e legislativo, e la risposta deve necessariamente avere fondamento all'interno di una visione strategica generale in grado di coniugare le esigenze di gestione individuale degli spazi privati con la comprensione dell'importanza di adattarsi al cambiamento climatico. Gli spazi aperti privati possono essere più facilmente trattati nel caso di una nuova edificazione e attraverso un regolamento edilizio. Esigono invece maggior approfondimento gli ambiti urbani consolidati poiché è più difficile trovare delle soluzioni normative o forme di incentivo capaci di favorire reazioni di intervento sul patrimonio costruito (Musco et. al. 2015a).

Guardando con attenzione alle aree urbane, le già citate NBS sono le aree verdi e il sistema del verde in generale: parti della città che sono in grado di fornire occasioni per migliorare la qualità della vita, gli spazi per lo sport ed il tempo libero. Le aree verdi alberate hanno una naturale capacità di ridurre il surriscaldamento localizzato all'interno delle aree urbane, calmierando l'effetto dell'isola di calore urbano, creando un effetto refrigerante percepibile nei parchi e nelle aree circostanti anche in una

condizione di cambiamento climatico (Musco et. al., 2015b). Infatti le temperature mediamente più elevate che si registrano nelle aree urbane rispetto alle aree rurali circostanti, subiscono conseguenze anche in relazione al riscaldamento globale. Le proiezioni IPCC (2013) riguardanti le tendenze climatiche indicano, oltre al mero aumento dei valori di temperatura, anche soprattutto un incremento di frequenza, durata ed intensità delle ondate di calore. Conseguentemente, l'ambiente urbano parrebbe ragionevolmente predestinato a subire le ripercussioni maggiormente rilevanti, soprattutto per quel che riguarda i rischi per la salute umana (Perini et al., 2015). In questa prospettiva l'impiego di NBS che utilizzino in prevalenza il sistema del verde per la compensazione del surriscaldamento nelle aree urbane rappresentano una soluzione adeguata.

Un secondo aspetto legato all'uso di NBS basate sulle infrastrutture verdi è la loro capacità di essere regolative per le acque piovane, sia in caso di eccesso che di scarsità (Musco, 2018).

In questa prospettiva pare possibile tracciare un'evoluzione come pure una forte interazione tra la sostenibilità e altri concetti fortemente connessi con la scarsità delle risorse, i fragili equilibri tra l'ambiente urbano e uno scenario globale di cambiamento globale dal punto di vista climatico.

La mitigazione del rischio e la riduzione della vulnerabilità, la tutela dei suoli e la protezione della linea di costa, la protezione dal caldo e dalla siccità, risultano questioni prioritarie per lo sviluppo, insieme ai temi dell'energia, del riciclo, dell'economia circolare e di quelle risorse che sono forma e valore della città esistente.

A fronte di tali problemi, l'inadeguatezza delle politiche urbanistiche e territoriali, sia al livello locale che nazionale, si manifesta non solo per il ricorso a provvedimenti sempre emergenziali (negli ultimi anni sono stati spesi circa 800 mila euro al giorno per riparare i danni e meno di un terzo di questa cifra per prevenirli) ma anche per l'incertezza dei processi normativi, che lavorano sempre in regime di straordinarietà, e per la mutevolezza delle competenze territoriali (gli eventi disegnano geografie che ridefiniscono gli ambiti, le competenze e le politiche ben oltre i confini amministrativi). Le iniziative pur attive sulla scala nazionale a partire dalla *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2014) –per la cui redazione è stata mobilitata la comunità scientifica– risulta ancora sostanzialmente scollegata dalle politiche urbane e da una coerenza giuridica nell'ambito dei quadri normativi per il governo del territorio (Fabian et al. 2016).

In definitiva, ad oggi nei piani urbanistici l'integrazione della sostenibilità, come pure nello specifico delle politiche di mitigazione e delle misure di adattamento possono diventare quadri da trattare con adeguate risorse e soprattutto con integrazione di strategie e azioni in grado di far cooperare adattamento e mitigazione con il progetto della città.

## **Basi scientifiche per un approccio applicativo alla sostenibilità**

Quanto sin qui riportato porta alla necessità di un cambio di paradigma, di una scienza e una pratica delle decisioni che prendano atto della realtà complessa costituita da ambiente e territorio, senza le quali il concetto di sostenibilità rimane evanescente e scivola nella retorica.

Secondo l'Enciclopedia Treccani «*complessità è la caratteristica di un sistema concepito come un aggregato organico e strutturato di parti tra loro interagenti, in base alla quale il comportamento globale del sistema non è immediatamente riconducibile a quello dei singoli costituenti, dipendendo dal modo in cui essi interagiscono*».

Ne scaturiscono i limiti dell'approccio determinista perché da questa definizione emerge la l'imprevedibilità dei processi complessi. Essa smentisce l'assioma meccanicista secondo cui un'intelligenza superiore che conosca tutte le forze in gioco e abbia una memoria sufficientemente vasta da contenere tutti i dati e gli algoritmi, possa costruire un modello completo delle interazioni, macro e microscopiche, che le consenta di prevedere l'evolvere di tutte le interazioni stesse. La dipendenza dalle condizioni iniziali cambia continuamente i caratteri dell'oggetto studiato, man mano che il modello determinista acquisisce dati e algoritmi, cosa che ne vanifica le capacità predittive.

Un altro limite insito nel determinismo è l'inevitabile necessità riduzionista, che porta ai paradossi sottolineati da Giuliano da Empoli (2013) quando parla di "ignoranti istruiti", evocando la necessità di affrancarsi dalla pseudo cultura della misurazione, che riduce la conoscenza a sommatoria di saperi sempre più specifici. E questa non è la "solita" polemica fra umanisti e scienziati, vedi anche l'articolo di titolatissimi biologi come Spiribile et al. (2016).

Quindi non si tratta di dispute fra ambiti scientifici, ma puntualizzazione dei necessari fattori di scala, perché l'indagine di laboratorio ha bisogno della specializzazione sempre più spinta, mentre quella territoriale deve essere scienza dei processi, quindi della complessità, vincolata dalla sintesi necessaria alla decisione.

Di conseguenza, la Terza Missione delle Università si alimenta del rapporto con il territorio, laboratorio indispensabile a definire i contorni di ricerche altrimenti astratte e, contemporaneamente, riceve ricadute fondamentali per il suo sviluppo. Questo può essere un tipico tema che la Terza Missione dovrebbe rinforzare, perché le carenze nel tema dell'urbanistica e della pianificazione discusse in precedenza dipendono anche dall'ancora debole simbiosi in atto fra Università e Territorio. Essa è infatti lasciata alle "buone volontà" dell'una e dell'altro, che porta a esiti a macchia di leopardo, quando invece servirebbe una istituzionalizzazione, che assicuri il minimo garantito di crescita comune: l'Università (e soprattutto le sue componenti più legate alle applicazioni immediate delle ricerche) per la disponibilità del laboratorio costituito dal Territorio e quest'ultimo per lo stimolo che riceve dalla ricerca, come pure dalle esperienze didattiche.

È allora necessaria una scienza del territorio e dei relativi processi finalizzata ad obiettivi rapidamente spendibili. Su questo tema il riferimento alla termodinamica è importante, perché essa è disciplina della complessità, ma anche delle applicazioni concrete. Infatti, per prima ha sfidato la meccanica classica riduzionista per studiare problematiche applicative come la trasmissione del calore e le macchine termiche (Leone et al., 2018). Oggi essa si estende a tutte le organizzazioni complesse: biologiche, sociali ed economiche, città e paesaggio. La sua applicabilità alla sfera tecnica ne fa una disciplina-cerniera fra il mondo "astratto" della complessità e quello delle applicazioni, di cui il pianificatore ha bisogno (Scandurra, 1995). Un importante filone di ricerca è quindi l'ottimizzazione di questa cerniera, vedi, ad esempio, il testo curato da Papa e Fistola (2016).

Ne consegue che è fondamentale distinguere i fattori di scala: esiste un mondo delle "cose semplici", giustamente deterministe, e uno "delle cose complesse", olistico e "liquido"; essi interagiscono in continuazione, in equilibrio dinamico, ed uno prevale sull'altro, solo negli opportuni casi specifici. La sostenibilità e le sue applicazioni appartiene a quest'ultimo e la falsariga di studio offerta dalla Termodinamica è molto importante per rispondere a tutte le esigenze dell'Università contemporanea: una robusta base scientifica, il laboratorio offerto dalle applicazioni, stimulate dalla



Terza Missione, la ricaduta sulla didattica, che in questo caso sarà dinamica e ricca di valore aggiunto, che così torna al territorio.

La termodinamica è stata una delle scienze protagoniste della modernità, con la macchina termica scaturita dai suoi studi. I fondamenti si devono alla scoperta di Sadi Carnot: si può ottenere lavoro (exergia) dallo scambio di calore fra due sorgenti, una “calda” e l’altra “fredda”. Le quantità in gioco sono legate dalla Prima Legge della Termodinamica (PLT):

$$Q = L + \Delta U \quad [1]$$

che rappresenta la conservazione dell’energia.

Già da essa scaturisce un principio molto utile sul piano delle applicazioni ai sistemi complessi. L’energia interna  $U$  del sistema è la somma delle energie cinetiche delle singole molecole del gas (il vapore nella macchina termica) cui si applica l’eq. [1]. La termodinamica si rende conto dell’inadeguatezza a trattare questo problema dell’approccio determinista-riduzionista della fisica newtoniana. I miliardi di molecole di vapore contenuto nella caldaia della macchina non sono la semplice, singola mela di Newton che cade dall’albero con accelerazione di  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Il vapore è costituito da un numero enorme di multiagenti (le singole molecole) che è impossibile studiare singolarmente, così come è impossibile seguire, prevedere il comportamento degli esseri viventi di un ecosistema e degli abitanti-utenti di una città o l’evoluzione del paesaggio per effetto di uomo, clima, idro-geologia ecc.

Ma le applicazioni obbligano a non fermarsi alla definizione e all’analisi del problema, sono necessarie soluzioni, che poi l’esperienza, il laboratorio, potrà premiare o bocciare. Il concetto di temperatura scaturisce da questa esigenza, essa non è una grandezza fisica, è un artificio concettuale, nato dalla necessità pratica di superare l’impasse su cui si è trovata la fisica tradizionale di fronte al sistema complesso (il gas-vapore) e a quello strano processo che è la trasmissione del calore. La temperatura è una variabile di stato, un indicatore della condizione media di energia interna di un corpo.

I fisici della termodinamica si sono resi conto che è inutile seguire la chimera riduzionista di tutto analizzare e tutto prevedere in questi casi complessi e si “accontentano” dell’indicatore, che individua (e quantifica) complessivamente, non più per singolo agente, la direzione di flusso del calore fra due corpi a diversa energia interna. Lo studio in chiave applicativa di questi processi è stato deflagrante: la prima rivoluzione industriale, le macchine, l’accorciamento delle distanze e la libertà di movimento.

Ancora più pregnante è la Seconda Legge della Termodinamica (SLT) con i suoi molteplici enunciati, conseguenza della sua rilevanza, duttilità di applicazione, potenza ed eleganza concettuale, così come l’ha colta Einstein: *«una teoria è tanto più impressionante quanto più semplici sono le sue premesse, quanto più diverse sono le cose che mette in relazione e quanto più esteso è il suo campo di applicazione. Da qui la profonda impressione che mi ha fatto la termodinamica classica. È la sola teoria fisica di contenuto universale della quale io sia convinto e che, nel campo di applicabilità dei suoi concetti fondamentali, non sarà mai confutata»*.

L'enunciato classico della SLT è piuttosto "freddo", di interesse limitato all'ingegneria meccanica: è impossibile trasformare in lavoro tutto il calore assorbito da una sorgente perché qualcosa si perde. Questo qualcosa è il calore ceduto a un altro sistema, di minore temperatura, che, in quanto tale, ha sempre meno possibilità di produrre lavoro e così via, fino all'equilibrio-morte.

Il calore è dunque energia di minore pregio, degradata dal processo di produzione, è una sorta di disordine improduttivo, processo misurato attraverso un'altra variabile di stato: l'entropia. Essa indica la trasformazione interna del sistema, che muta sé stesso, perdendo sempre qualcosa in termini di possibilità di nuova interazione, diventa sempre più freddo, andando verso l'equilibrio-morte finale. Questi concetti ribadiscono la mono-direzionalità delle trasformazioni dell'universo<sup>1</sup>, quindi di tutti i sistemi: fisici, biologici e sociali, di cui l'entropia è una misura quantitativa.

Da tale consegue la necessità di integrare i concetti di sostenibilità confrontandosi con quello di entropia.

I sistemi biologici e sociali si organizzano contrastando il disordine associato ai processi spontanei "costruendo" ordine, attraverso il lavoro, ovvero il consumo di energia. Ne conseguono fattori di scala: l'ordine è un'eccezionalità che riguarda una parte del sistema, a cui corrisponde, inesorabilmente, un disordine maggiore nella restante parte del sistema stesso. Per la città, ad esempio, il disordine globale è l'inevitabile prezzo entropico che "bisogna pagare" per ottenere il benessere degli abitanti (vedi Rees e Wackernagel, 1996). Per questo motivo non si può pensare alla città come un'isola, pena scompensi ambientali, ma anche la stessa crescita dell'*urbs*, che ha bisogno del "suo" paesaggio, fatto di campagna che produce alimentazione, immettendo massa ed energia nel sistema urbano. Questa connessione è stata dimenticata dalla prometeica presunzione meccanicista moderna ed è questo uno dei principali fattori di crisi della città contemporanea, percepita, ad esempio, da Calvino sin dal 1972, vedi il capitolo dedicato a Leonia.

L'essenza del paesaggio fonda sull'interazione fra natura e cultura, come riconosciuto anche da documenti formali quali la convenzione europea di Firenze (2000) ed il Codice italiano. Quindi scambio e incontro, che poi sono gli stessi elementi fondamentali della città<sup>2</sup>. Osserva Braudel (1982) che, fino a tempi recenti<sup>3</sup>, ogni città aveva il suo cibo a portata di mano, per cui essa era sostenuta dalla sua campagna, in una simbiosi sempre viva che ha prodotto paesaggio di qualità e resilienza ambientale. Simbiosi, quindi, perché questi flussi sono bidirezionali: la massa si sposta anche nell'altro senso, dalla città alla campagna, nella forma di rifiuti e deiezioni. Questi sono le stesse molecole dei prodotti alimentari partiti dalla campagna, che vi tornano per nutrire il terreno, per cui questa assume la funzione di una grande macchina rigeneratrice della materia. L'energia che sostiene questo processo viene dalla radiazione solare ed è acquisita, attraverso la fotosintesi, dalle piante, governate dall'agricoltore.

Ecco che tutte le parti del sistema, dal microorganismo al notevole cittadino, sono in mutua e proficua interazione, con al centro il contadino. È il millenario ciclo dell'economia pre-moderna, sin dalla rivoluzione del Neolitico. La città moderna ha rotto legami e confini, anticipando, sotto

---

<sup>1</sup> Se ci si immerge più volte nello stesso punto di un fiume, non ci si bagna mai nella stessa acqua (Eraclito).

<sup>2</sup> Perché si possa parlare di città è necessario lo scambio, il mercato non occasionale di prodotti. Ma anche i sistemi ecologici hanno gli stessi fondamentali, con il mercato sostituito dalle simbiosi, che sempre scambio di mutuo vantaggio sono.

<sup>3</sup> Tempi che possono essere identificati con la sostituzione dell'agricoltura tradizionale con quella industriale, processo iniziato nei primi decenni del '900 e completatosi dopo la seconda guerra mondiale.

certi aspetti, la globalizzazione. È ricca ma è priva di territorio, per cui tutto il territorio può diventare città, consumando suolo, ormai privo di funzione e valore, se non fondiario.

La città vive, anche bene sul piano economico, così come vivevano bene i passeggeri del Titanic e l'iceberg metaforico consiste nell'enorme problema dei rifiuti prodotti e negli stravolgimenti climatici, che rappresentano l'incremento dell'entropia del sistema. La città ha cambiato il suo clima ben prima del *global change*, perché il paesaggio urbano genera l'isola di calore richiamata in precedenza. Quindi il cittadino "paga" la sua migliore qualità della vita con sempre minore sicurezza, che poi diventa anche rischio per la salute, se si pensa alle morti anticipate conseguenti le ondate di calore e l'inquinamento atmosferico.

Guarda caso, i rimedi per questi problemi sono legati al verde, con la sua capacità di assorbire le acque di deflusso e di mitigare gli estremi di temperatura. È la nemesis della campagna, che oggi si auspica torni in città, fatto meritorio, che va affrontato però con la necessaria competenza e serietà: non orti urbani come semplice passatempo, ma come erogatori di importanti servizi ecosistemici (La Rosa et al., 2014; Pappalardo et al., 2017; Leone et al., 2017; La Rosa et al., 2018; Richiedei et al., 2018).

## L'entropia come "equazione" della sostenibilità

Si è detto della predisposizione al *problem solving* della termodinamica, che si basa sulla formulazione matematica, come spesso accade molto semplice nella enunciazione. Essa ha introdotto il concetto di entropia proprio per misurare il degrado, il rifiuto, quindi la sostenibilità "quantitativa" deve ricalcare questi concetti. Serve allora la formula che definisce l'entropia:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad [2]$$

ovvero rapporto tra la quantità di calore scambiata fra la sorgente "calda" e "fredda" ( $\Delta Q$ ) e stato energetico (temperatura  $T$ ) a cui questo processo si compie. In altri termini, la variabile di stato entropia è un indicatore di variazione dello stato del sistema ( $\Delta Q$ ) rispetto alla sua specifica situazione energetica ( $T$ ). si è detto che nella termodinamica  $\Delta Q$  dà conto del degrado dell'energia, rappresentando la sua aliquota che non produce lavoro.

Generalizzando,  $\Delta Q$  può essere interpretato come degrado, che la [2] dimostra essere relativo, essendo rapportato allo stato  $T$  del sistema, interpretabile come sua vulnerabilità intrinseca. Quindi non esiste un'azione-impatto ambientale assoluto, positivo o negativo che sia, perché questo va sempre rapportato allo stato a cui si manifesta. A parità di azione, le conseguenze possono essere molto diverse, a seconda delle specificità. In questi casi, quindi, pensare in modo uniforme e lineare è decisamente erroneo.

Chiarisce ulteriormente questi concetti la definizione statistica di entropia formulata da Ludwig Boltzman:

$$S = K_B \cdot \ln W \quad [3]$$

in cui l'entropia indica il numero di microstati del sistema ( $W$ ) compatibili con le condizioni al contorno, con il macrostato esterno, mentre  $K_B$  è una detta costante dipendente dalle unità di misura.

Per formalizzare e generalizzare questo concetto, si può dire che l'informazione  $I$  apportata dall'evento  $i$ , di probabilità  $p_i$ , aumenta al diminuire della probabilità stessa.

In altri termini, meno frequente è un evento, più informazione porta con sé.

Per la formulazione matematica di questo concetto si è preferita la funzione logaritmo fra tutte le possibili crescenti (sui motivi vedi Grignuolo, Palermo e Vettoreto, 1988), l'espressione è perciò:

$$I(p_i) = -\log(p_i) \quad [4]$$

in cui  $p_i$  rappresenta la probabilità di una condizione ed  $I$  l'informazione, tanto più ricca quanto più piccola è  $p_i$ .

Questa equazione dimostra, con l'elegante sintesi tipica della matematica, l'importanza degli elementi fuori dalla norma, di bassa probabilità, ma fondamentali per incrementare l'informazione, quindi la potenzialità evolutiva del sistema.

Traslando questi concetti alla sfera delle decisioni e dell'agire degli uomini, si può dire che il conformismo dei dati "normali" è certamente utile perché struttura il sistema, ma poi è fondamentale il ruolo degli agenti al di fuori di essi, dei "ribelli" che definiscono i confini del sistema, le sue capacità evolutive e di massima performance. Ad esempio, le migliaia di micrososse che coinvolgono una zona sismica hanno poca importanza per il pianificatore, che si deve preoccupare, invece, dei rari eventi in cui è messa a rischio la statica delle strutture.

L'importanza del concetto di entropia è testimoniata dall'enorme pubblicistica scientifica su di essa, che, giustamente, è andata ben oltre la fisica, coinvolgendo tante altre discipline: ovviamente quelle ecologiche (Odum, 1996), ma appare importante ricordare i famosi studi di economia di Georgescu-Roegen (1998).

Anche per discipline della complessità, come l'urbanistica e la pianificazione territoriale, esiste una vasta pubblicistica in tema di entropia (da Scandurra, 1995 a Papa e Fistola, 2016) che si ritiene debba crescere ulteriormente dal punto di vista del supporto alla prassi delle Scienze del Territorio.

Infatti, mentre l'impostazione teorica è ben chiara, le applicazioni sono ancora ai primordi, ma esse sarebbero molto utili, sulla traccia della termodinamica e le sue conseguenze pratiche.

Ad esempio, la città non può che essere dissipativa e disordinata, quindi per definizione non sostenibile (Rees e Wackernagel, 1996), grande consumatrice di entropia, fautrice di distruzione di alcune cose, ma anche di costruzione di altre, grazie alle relazioni umane che stimola e promuove. Allora il problema della sostenibilità si sposta alle possibili simbiosi e circolarità, ai rapporti "paesaggistici" fra città, consumatrice di risorse, e la sua campagna che assorbe l'entropia.

La bibliografia citata nella presente memoria riporta alcuni casi di applicazioni concrete di questi concetti, comprese le prime ipotesi di calcolo dell'entropia, quindi della sostenibilità di diversi scenari territoriali (vedi Leone et al., 2018).

## Conclusioni: strategie di Terza Missione per il territorio

Consegue dalle riflessioni di questo articolo la necessità di ricerca stimolata dalle applicazioni, quindi dal ruolo sociale delle Università che si impegnano per migliorare il loro territori, per cui, fra i tanti suoi obiettivi, la Terza Missione delle università può aiutare la ricerca applicata a crescere anche per accrescere i contenuti scientifici della sostenibilità.

I cardini di questo scenario possono essere:

- Attività di attenzione e cooperazione con la società e il territorio, che si concretizza in azioni dimostrative, che hanno conseguenze sinergiche su formazione, sviluppo culturale e, in genere, sociale, in particolare presso enti pubblici e società private e del terzo settore.
- Costruzione, sulla base delle esperienze maturate, di una governance universitaria aperta a tutte le realtà sociali del territorio, attraverso esperienze applicative, anche in cooperazione con quei soggetti, per il migliore trasferimento e crescita della conoscenza.
- Impegno formativo per la diffusione, anche oltre il territorio di competenza, dei risultati delle esperienze, anche attraverso lo sviluppo di nuova imprenditoria e spin off universitari che possano orientare e “lanciare” nel mondo del lavoro gli studenti usciti dall’università e assicurare la formazione continua di chi vi è già inserito.

## Bibliografia

Braudel L. (1982), *Civiltà materiale, economia e capitalismo. Le strutture del quotidiano*, Einaudi.

Calvino I. (1972), *Le città invisibili*, Einaudi.

Da Empoli G. (2013), *Contro gli specialisti. La rivincita dell’umanesimo*, Editore Marsilio.

Fabian L., Morello E., Musco F., Russo M. (2016), *Politiche e progetti per la resilienza al cambiamento climatico*, in *Rapporto sulle Città. Le agende urbane delle città italiane*, Il Mulino.

Georgescu-Roegen N. (1998), *Energia e miti economici*, Bollati Boringhieri.

Grignuolo S., Palermo P. C., Vettoreto L. (1988), *Le analisi multi dimensionali*, in A. Cecchini et al. (a cura di), *Enciclopedia di Urbanistica e Pianificazione Territoriale*, VII, *Analisi/2*, 467-606.

IPCC, *Summary for Policymakers*. In: *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (Stocker, T.F., et al. Eds.), Cambridge University Press, UK.

ISPRA (2018), *Rapporto sul consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, 280 pp.

La Rosa D., Privitera R., Barbarossa L., La Greca P. (2018), *Rischi urbani e territoriali, Sicilia - Rapporto sul Territorio 2018, Urbanistica Dossier*, INU Edizioni.

La Rosa D., Privitera R., Barbarossa L., La Greca P. (2017), *Assessing spatial benefits of urban regeneration programs in a highly vulnerable urban context: A case study in Catania, Italy, Landscape and Urban Planning*, 157:180 – 192.

La Rosa D., Privitera R., Barbarossa L., Martinico F. (2014), *Agriculture and the city: A method for sustainable planning of new forms of agriculture in urban contexts, Land Use Policy*, 41:290 – 303.

Leone A. (2011). *Ambiente e pianificazione. Analisi, processi, sostenibilità*. Franco Angeli Editore, Collana Urbanistica *Territorio governance sostenibilità*, 437 pp.

Leone A., Pelorosso R., Gobattoni F. (2018), *Pianificazione e incertezza. Una bussola e alcune mappe per navigare nel mondo liquido*. Franco Angeli Editore, Collana Urbanistica *Territorio governance sostenibilità*, 140 pp.

Leone A., Pelorosso R., Gobattoni F. (2019), *Paesaggio e patto città-campagna necessitano l'estensione del concetto di consumo di suolo*, CeNSU International Annual Symposium 2019, *Research Technics & Planning*, Napoli, 3 maggio 2019.

Musco F., Fregolent L., Ferro D., Magni F, Maragno D., Martinucci D., Fornaciari G., *Mitigazione ed adattamento ai fenomeni di UHI: il caso studio di Padova (2015a)*, in Musco F. Fregolent L. (a cura di), *Pianificazione Urbanistica e Clima Urbano. Manuale per la riduzione dei fenomeni di isola di calore urbano*, Il Poligrafo, Padova.

Musco F. (ed) (2015b), *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*, Springer, New York.

Musco F. (2018), "Nature Based Solutions. Tecniche e strumenti per la città resiliente", *Equilibri*, n.1, pp. 105-115.

Odum, H.T. 1996. *Environmental Accounting: Energy and Environmental Policy Making*. John Wiley and Sons, New York. 370 pp.

Papa R., Fistola R. (2016), *Smart Energy in the Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future*, Springer.

Pappalardo V, La Rosa D, Campisano A, La Greca P (2017), *The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: a preliminary evaluation from a southern Italy case study. Ecosystem Services*. Pp. 1–10.

Perini L., Salvati L. (2015), *Dalla città compatta alla metropoli diffusa: crescita insediativa e implicazioni sui cambiamenti climatici a scala urbana*, in Musco F., Fregolent L., *Pianificazione Urbanistica e Clima Urbano*, Il Poligrafo, Padova.

Pelorosso, R., Gobattoni, F., & Leone, A. (2014). *Multifunctionality and resilience of urban systems: the role of green infrastructures. Urbanistica Informazioni*, 257, 135–138.

Pelorosso, R., Gobattoni, F., & Leone, A. (2018). *Reducing Urban Entropy Employing Nature-Based Solutions: The Case of Urban Storm Water Management*, in: R. Papa, R. Fistola (Eds.) *Smart Planning: Sustainability and Mobility in the Age of Change*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. Page: 37-48.

Rees W., Wackernagel M. (1996), *Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable – And why they are a key to sustainability*, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 16: 223-248.

Richiedei A., Tira M., Mazzetti F. (2018), *La polarizzazione del consumo di suolo: dinamiche d'area tra piccoli comuni. Il caso del progetto Pianura Sostenibile in provincia di Brescia*. ISPRA, *Rapporto sul consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*.

Richiedei A., Tira M., Mazzetti F. (2018), Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. ISPRA (2018), *Rapporto sul consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*.

Rydin Y., Bleahu A., Davies M. et al. (2012), Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. *The Lancet*, 379, 9831:2079–2108.

Scandurra E. (1995), L'ambiente dell'uomo. Verso il progetto della città sostenibile, Etas Libri.

Spiribille T. et al. (2016), "Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens", *Science*, vol. 353: 488-492.

Tira, M., Tiboni, M., Richiedei, A., Rossetti, S., Frascarolo A. (2013). Italian National Report Road safety in South-East European regions, ROSEE project, WP3: *Policy and data analysis*.

Watts N., Adger W. N., Agnolucci P. et al. (2015). Health and climate change: Policy responses to protect public health. *The Lancet*, 386 (10006), 1861–1914.

Zhang W., Villarini G., Vecchi G.A., Smith J. A. (2018), Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston, *Nature Letters*.

Yannis G, Tira M, Tiboni M et al. (2014), Assessment of road safety legislation, policy and institutional capacity in South-East European regions, Transport Research Arena - TRA2014, Paris, France.