



# MEDITERRANEAN SMART CITIES

*Innovazione tecnologica ed ecoefficienza nella gestione dei processi di trasformazione urbana*

**Antonella Trombadore**

*“Pensare mediterraneo” di Marco Sala*

*Presentazione di Maurizio Carta*

*Prefazione di Riccardo Basosi*

*Contributi di Consuelo Nava, Antonella Violano, Valentina Dessì, Lucia Ceccherini Nelli, Claudio Saragosa*

**Altralinea**  
EDIZIONI



L'interesse sempre maggiore che le città italiane stanno dimostrando verso il paradigma della *Smart City* dimostra come il tema del ripensamento delle aree urbane sia ormai diventato una priorità d'intervento, determinando la forte esigenza di nuovi modelli di fruizione degli spazi urbani e abitativi, quali contesti di applicazione delle innovazioni tipologiche, tecnologiche e gestionali.

Fra gli aspetti positivi che comporta il ripensare la città in un'ottica *smart*, uno dei principali è sicuramente il riferimento a una visione organica di rivitalizzazione urbana, che permetta di integrare, valorizzare e indirizzare verso obiettivi comuni, soluzioni e interventi che, da soli, rischiano di creare discontinuità. La posizione geografica strategica del Mediterraneo e le sue caratteristiche climatiche e culturali costituiscono la sua unicità, tanto che si può parlare di "Modello Mediterraneo".

Ma in questo scenario caratterizzato da un vorticoso mutamento socio-culturale qual è il ruolo giocato dal "Modello Mediterraneo"? Verso quale visione e con quali strumenti finanziari e di governance le città stanno portando avanti le proprie scelte e le proprie progettualità? E quali sono oggi gli elementi di connessione e di contaminazione culturale capaci di creare valore e suggerire una visione per vivere consapevolmente la città, per guidare e governare i processi di trasformazione cui sono sottoposte le città? Come intervenire sui diversi ambiti che rendono la città *smart*: *mobility, economy, governance, people, living, environment*?

L'articolazione dei contributi presenti in questo volume rispecchia la necessità di un approccio multidisciplinare per la gestione integrata dei processi di trasformazione urbana in chiave di sostenibilità ed eco-efficienza. Si ripercorrono alcune esperienze significative di ricerca svolte in questi anni sul tema dell'approccio sostenibile nei processi di trasformazione dell'ambiente costruito, proiettando i professionisti verso scenari futuri di quella che può configurarsi come la declinazione mediterranea della *Smart City*. È una riflessione che cerca contaminazioni nei diversi ambiti disciplinari, creando una trama ampia che diventa pretesto per nuove tessiture.

# MED SMART CITIES

01

Collana MED SMART CITIES / 01  
*direttore scientifico* Marco Sala  
*responsabile editoriale* Antonella Trombadore

*Comitato Scientifico*

Firas Alawneh - *National Energy Resarch Center (NERC), Royal Scientific Society (RSS) Amman, Giordania*  
Giuseppina Alcamo - *Università degli Studi di Firenze*  
Angela L.M. Alessi - *Ecosustainable Group HK/LDN, Mysore School of Architecture, India*  
Tom Bosschaert - *Except Integrated Sustainability, Rotterdam, Paesi Bassi*  
Maurizio Carta - *Università degli Studi di Palermo*  
Lucia Ceccherini Nelli - *Università degli Studi di Firenze*  
Valentina Dessì - *Politecnico di Milano*  
Paola Gallo - *Università degli Studi di Firenze*  
Elias Kinab - *Lebanese University Roumieh Campus, Beirut, Libano*  
Consuelo Nava - *Università Mediterranea di Reggio Calabria*  
Fernando Recalde Leon - *Università degli Studi di Firenze*  
Rosa Romano - *Università degli Studi di Firenze*  
Alfonso Senatore - *OnGreening-Multienergy-Sustainability Think Tank, London, Regno Unito*  
Fabrizio Tucci - *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*  
Antonella Violano - *Seconda Università degli Studi di Napoli*

© Altralinea Edizioni s.r.l. – 2015  
Via P.L. da Palestrina 17/19 rosso – 50144 Firenze  
Tel. +39 055 333428  
info@altralinea.it  
www.altralineaedizioni.it

*tutti i diritti sono riservati:  
nessuna parte può essere riprodotta in alcun modo  
(compresi fotocopie e microfilms)  
senza il permesso scritto dalla Casa Editrice*

ISBN 978-88-98743-80-3

*Coordinamento editoriale*  
Antonella Trombadore

*Design*  
Adriana Toti

*Redazione, editing e impaginazione*  
Zaira Grasso, Cecilia Tosto

*Elaborazione grafica della copertina*  
Giulia Sala, Cecilia Tosto

Prima edizione digitale maggio 2016

*In copertina*  
Vedute di paesaggi mediterranei

# MEDITERRANEAN SMART CITIES

*Innovazione tecnologica ed ecoefficienza nella gestione dei processi di trasformazione urbana*

**Antonella Trombadore**

*“Pensare mediterraneo” di Marco Sala*

*Presentazione di Maurizio Carta*

*Prefazione di Riccardo Basosi*

*Contributi di Consuelo Nava, Antonella Violano, Valentina Dessì, Lucia Ceccherini Nelli, Claudio Saragosa*

**Altralinea**  
EDIZIONI

<b>Pensare mediterraneo</b> <i>di Marco Sala</i>	8
<b>Presentazione</b> <i>di Maurizio Carta</i>	12
<b>Prefazione</b> Energia, entropia e complessità <i>di Riccardo Basosi</i>	16
<b>Introduzione</b> <i>di Antonella Trombadore</i>	36
<b>Smart City   Smart People   Smart Governance   Smart Data   Smart Environment   Smart Living</b>	
La declinazione <i>smart</i> nel contesto mediterraneo: 5 punti per l'Abitaremediterraneo <i>di Antonella Trombadore</i>	43
Approccio integrato e <i>multilevel</i> per una visione condivisa di città <i>di Antonella Trombadore</i>	57
The European framework of Mediterranean Smart Cities: MEETHINK Energy Project <i>di Antonella Trombadore</i>	85
Indicatori di <i>smartness</i> <i>di Antonella Trombadore e Zaira Grasso</i>	108
<i>Smart Governance</i> per la promozione territoriale: la proposta del marchio Made in Casentino <i>di Antonella Trombadore e Cecilia Tosto</i>	118
I_Building, modello di <i>Smart Governance</i> per gli interventi di riqualificazione energetica <i>di Antonella Trombadore</i>	128
Eco infrastrutture energetico ambientali per aree verdi produttive <i>di Antonella Trombadore e Juan Camilo Olano</i>	150
<b>Contributi</b>	
<i>ReActionCity</i> : un progetto resiliente di innovazione sociale urbana per una visione <i>smart</i> della città metropolitana di Reggio Calabria <i>di Consuelo Nava e Carmela D'Agostino</i>	174
Il comportamento ambientale consapevole <i>di Antonella Violano</i>	186
Il controllo dei materiali urbani per il miglioramento del comfort termico <i>di Valentina Dessì</i>	200
Architettura mimetica e verde urbano per il risparmio energetico <i>di Lucia Ceccherini Nelli</i>	210
Tempo, ambiente e società: metodi e tecniche per la rappresentazione dell'ecosistema territoriale <i>di Claudio Saragosa</i>	236

## **Esperienze**

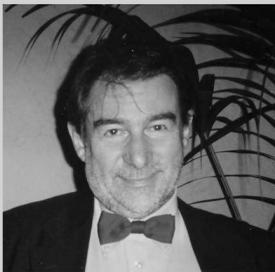
<i>Eco cities per il XXI secolo</i> <i>di Alfonso Senatore</i>	<b>246</b>
Piano energetico ambientale regionale: l'esperienza della Regione Sardegna <i>di Simona Murrone</i>	<b>256</b>
<i>Smart City e Pubblica Amministrazione</i> <i>di Sara Tavazzi</i>	<b>264</b>
La valorizzazione della risorsa idrica in ambiente urbano <i>di Nicola del Seppia</i>	<b>272</b>
Il paradigma della pianificazione e la presenza delle esternalità: il perseguimento della sostenibilità nell'edilizia <i>di Filippo Checcucci</i>	<b>286</b>

## Ringraziamenti

*Ringrazio vivamente i ricercatori del Centro ABITA, i docenti e i professionisti che hanno condiviso con me la loro esperienza, fornendo contributi originali ad una sfaccettata formazione interdisciplinare, arricchendo di riflessioni e di contaminazioni culturali questa pubblicazione. Un ringraziamento particolare a Cecilia Tosto e Zaira Grasso per la loro pazienza e dedizione nel dare vita a questo volume. Grazie ai presenti nella mia quotidianità che con la loro empatia trasmettono entusiasmo e determinazione.*



*A Francesco, mio padre  
che da lassù sorride con me;  
a Francesco, mio figlio  
che ogni giorno, irrefrenabile  
mi contagia la voglia di scoprire  
la complessa danza dell'esistenza  
che si dipana attorno a noi.*



*Full Professor in Architectural Technology in Florence University, fonder of ABITA research centre and director of European Master ABITA in Sustainable Architecture. Coordinator of many european research projects, Principal of MSAassociati Architecture and Energy Consultants, specialised in bioclimatic architecture, environmental design and sustainable planning, designed many realised bioclimatic buildings and consultancies for public administrations as well as national and international companies.*

Switch from simple consideration of the housing problem and the evolution of building technologies to the application of a “Smart City Mediterranean” model, it means to analyse and address in an integrated way all components of cultural, socio-economic and technological that will influence the processes of Cities transformation. It needs therefore to refer to a holistic model for defining, optimizing resources in a flexible and adaptive, strengthening and enhancing connections to the new green economy and changing society. This book raises the editorial series ABITA Bioecological Architecture and Technological Innovation for the Environment, suggesting not only a new design and editorial format, but also presenting a concrete contribution to the international debate, providing a stimulus to move eventually to a theoretical stage in policy of real experiments, claiming to university research on the role of scientific support to the cities management.

It is important today to think about the best strategies for the transformation of the Mediterranean city in order to offer reliable answers to population growth and migration, taking into account all the issues that these phenomena trigger.

Planning taking into account the cultural and environmental aspects of our Mediterranean regions leads to a different way of living and to promote the historical content of architectural traditions as well as to foster technological potential dense of cultural influences. This approach will also allow to an useful review of the policies developed by the northern European countries that drove research fields on buildings efficiency, energy and environmental issues.

# PENSARE MEDITERRANEO

Marco Sala

Passare dalla semplice considerazione del problema abitativo e dell'evoluzione del costruire al modello "Smart City mediterranea" significa analizzare ed affrontare in modo integrato tutte le componenti di natura culturale, socio-economica e tecnologica che incidono nei processi di trasformazione delle città: serve quindi riferirsi a un modello olistico per definizione, che ottimizza le risorse in modo flessibile e adattivo, potenziando e valorizzando le connessioni alle nuove economie verdi e alle società in evoluzione. Questo volume inaugura la collana MED SMART CITIES, proponendo non solo una veste grafica ed editoriale innovativa, ma soprattutto presentando un contributo concreto al dibattito internazionale, offrendo uno stimolo per passare finalmente da una fase teorica a una politica di sperimentazioni reali, rivendicando alla ricerca universitaria il ruolo di supporto scientifico al governo delle città.

*La trasformazione delle città Mediterranee.* Pensare oggi alle possibili strategie di trasformazione delle città Mediterranee vuol dire proporre risposte sicure alla crescita demografica e all'inurbamento, con tutte le tematiche che questi fenomeni innescano. Le previsioni al 2025 per le aree mediterranee indicano un aumento della popolazione del 25%, con la necessità di realizzare un grande numero di nuovi alloggi, oltre che alla ristrutturazione, restauro e aggiornamento funzionale del patrimonio edilizio esistente, già oggi carente sotto molti aspetti. Sulla riva nord del Mediterraneo si assiste ad una diffusione delle costruzioni, riduzione della popolazione nei centri storici e aumento delle periferie; le rive sud ed est sono invece caratterizzate da una forte crescita urbana, limitate capacità tecniche e finanziarie dei centri urbani, forte aumento delle zone di costruzioni non controllate.

Questa pressione sui litorali mediterranei, con un aumento previsto delle popolazioni costiere (20 milioni entro il 2025) e il raddoppio dei flussi turistici che sono attualmente 137 milioni nelle regioni costiere con aumento del 2,3% annuo: tutto questo porterà anche ad una forte crescita dei trasporti e delle costruzioni nelle aree urbane costiere. D'altro canto le richieste sempre maggiori da parte della società civile coinvolgono l'impegno delle industrie private ed esigono il coordinamento dei poteri pubblici, che deve trovare una concreta espressione di accordo e rispondere ad una domanda sempre più forte di conciliare confort di vita, sviluppo sostenibile e salute pubblica, diventando così un programma strategico e un impegno per molte regioni. Pensare e progettare nella specificità culturale ed ambientale delle nostre regioni mediterranee porta ad una diversa concezione dell'abitare ed a valorizzare il portato di tradizioni architettoniche e tecnologiche, ricche di potenzialità e di contaminazioni culturali e questo porterà anche ad una utile rivisitazione delle logiche nord europee nel settore della ricerca sulle costruzioni e sui problemi energetici e ambientali.

*Diminuire i consumi energetici legati alle costruzioni e salvaguardare le risorse.* L'adesione di vari paesi al Protocollo di Kyoto (fra cui l'Italia, la Francia, la Spagna) impegna le politiche nazionali e regionali. I consumi energetici legati alle costruzioni sono ancora molto elevati e rappresentano il 40-45% anche in Italia. Una forte specificità climatica mediterranea, con il problema del *comfort* estivo, del consumo delle risorse idriche e delle risorse naturali, richiede soluzioni specifiche e calibrate sulle regioni costiere, ma genera anche la ricerca di nuove forme di economia legate ai consumi energetici, al miglioramento delle condizioni del patrimonio edilizio esistente, alla gestione dei rifiuti e dei trasporti.

*Rispondere ad una domanda sempre più forte di conciliare comfort di vita, sviluppo sostenibile e salute pubblica.* Oggi una stima del tempo medio passato in un ambiente chiuso o semichiuso si aggira intorno alle 20-22 ore /giorno e questo pone forti problemi di salubrità e di *comfort* degli ambienti costruiti. Nell'ambito degli edifici per il terziario esistono guadagni potenziali, oggi sottostimati, come l'aumento della produttività e le minori assenze per malattia legati alle migliori condizioni ambientali, studio che coinvolge anche il problema della pericolosità dei materiali.

*Migliorare le competenze e la sicurezza nel settore delle costruzioni.* Il settore delle costruzioni è ancor oggi uno dei primari settori di attività nel Mediterraneo, con 1,3 milioni di persone occupate 100 miliardi di bilancio, ed ha anche un effetto moltiplicatore: infatti per ogni posto di lavoro nelle costruzioni se ne generano altri 2 nell'economia globale. Questo effetto di stimolazione si rivolge prevalentemente sull'economia locale: materiali locali, piccole imprese (la maggior parte delle imprese del settore sono PMI, e il 97% con meno di 20 occupati. Purtroppo questo settore presenta anche il più grave numero di incidenti sul lavoro ed è necessario investire in ricerche specifiche una evoluzione della sicurezza e dei mezzi di controllo.



Granada - Strada con sistemi di ombreggiatura tradizionali (Foto - Antonella Trombadore)

## THE AUGMENTED CITY AS A URBAN/HUMAN CONNECTING DEVICE



*Architect, full professor of urbanism and regional planning at the Department of Architecture and President of the Polytechnic School of the University of Palermo. Member of the Steering Committees of Italian Society of Urban Planners SIU, Accademia Urbana AU, National Institute of Urbanism INU. Responsible of the "Smart Planning Lab". Among last publications: Re-think, Re-load, Re-cycle: Mediterranean Urban Metamorphosis 2013, Reimagining Urbanism 2014, Urban Hyper-Metabolism 2015, The Fluid City Paradigm 2016.*

Cities were born and have resisted all alternative proposals – and the storms of post-urban – becoming the prevalent form of human settlement due to their ability to continually create a platform for innovation, allowing the greatest number of spare part, offering recyclable materials with which to build new relationships, or semi-finished places on which to complete the process of metamorphosis and of transition towards the post-carbon economy. We must recover the original meaning of urbanism as project of the quality and well-being, its projective dimension and its collective values to improve the citizenship and belonging to places.

In order to not less the powerful vision of contemporary cities as place enhancing collective intelligent of people we need a paradigm shift able to produce an intellectual toolkit for those of us who want to take the challenge in rethinking the sterile and unappealing vision. We need to lay a new groundwork for the far more fruitful alternatives to come, because the role of city as human enhancement must be renewed and reinforced. Beyond the smart city I want to propose the Augmented City: a spatial/cultural/social/economic device for enhancing our contemporary life, individual and collective, informal and institutional. If we live and act in a reality permanently improved by hard and soft devices, our cities must be more responsive to our behavioural changes. We would be able to build a more efficient urban environment, able to sense and to act everyday and for everyone.

The Augmented City acts as an innovation that connects devices and paradigms of planning and urban management, not limited to be a new definition of the many generated by bulimia lexical where is the discipline in his commitment to renewal. Design the Augmented City demands an ongoing trial of its spatial, social, cultural and economic forms that can increase the collective intelligence of its inhabitants. It needs to feed a new urban agenda that connects more sensitive practices, new regulatory equipment and emerging economic mutations.

The Augmented City demands to take the challenge of development plan as connecting devices of levels, people and places.

## PRESENTAZIONE

### La Città Aumentata, un dispositivo di connessione urbana/umana

**Maurizio Carta**

Oggi il dibattito urbanistico più sensibile, una rinnovata etica della responsabilità politica, la pervasività dell'innovazione tecnologica e la sfida del cambiamento climatico ci chiedono di essere più creativi nell'uso delle risorse naturali e culturali, più intelligenti nelle politiche economiche, più aperti nella governance, più efficienti nel settore dei trasporti e più resilienti negli stili di vita: autosufficienza, circolarità, condivisione e riciclo sono le chiavi principali della visione di futuro delle città, soprattutto quelle mediterranee. Nella società della conoscenza diffusa, le città agiscono come organismi vibranti di bisogni e risposte collaborative, di dati e di informazioni condivisi, di sensori e attuatori distribuiti, di azioni e reazioni del metabolismo. Sono città connesse e connettive in un rinnovato metabolismo urbano e umano. Le città sono oggi potenti habitat creativi, sono piattaforme di connessione tra elementi materiali e immateriali, e ogni nuova connessione produce innovazione urbana, generando nuove idee da esplorare, condividere, espandere.

La città come luogo di valorizzazione della intelligenza collettiva dei suoi abitanti invoca un cambiamento di paradigma in grado di produrre un set di strumenti procedurali e operativi per coloro che vogliono accettare la sfida di ribaltare una visione sterile e poco innovativa. Abbiamo bisogno di definire un nuovo terreno di gioco per una visione alternativa più proficua, capace di rinnovare e potenziare il ruolo della città come piattaforma abilitante delle capacità umane, come acceleratore di *empowerment* e come moltiplicatore del capitale umano.

Oltre la *Smart City*, per superarne la retorica ipertecnologica, voglio proporre la Città Aumentata (*Augmented City*) come un dispositivo spaziale/culturale/sociale/economico per connettere le componenti della vita urbana contemporanea, individuale e collettiva, informale e istituzionale, generatrice di benessere e felicità. Ho individuato dieci concetti chiave in grado di connettere paradigmi e dispositivi dell'urbanistica e della pianificazione territoriale per progettare la città aumentata – in senso spaziale, sociale ed economico – di fronte alle sfide del XXI secolo.

Innanzitutto una città aumentata è senziente perché ha bisogno di nuove fonti, parametri e strumenti per rafforzare gli strumenti cognitivi, valutativi e attuativi di un'urbanistica sempre più basata sulla conoscenza istantanea e distribuita e capace di produrre soluzioni tempestive, efficaci, solide e orientate ad uno scenario di cooperazione. È quindi anche collaborativa perché necessita dell'alleanza strutturale tra le dimensioni civica-tecnologica-urbana per agire efficacemente nella *Sharing Society* in cui viviamo, generando nuove forme dello spazio collettivo. Una città aumentata è intelligente perché capace di generare un ecosistema abilitante basato sull'*hardware* fornito dalla qualità degli spazi urbani e sul *software* codificato dalla cittadinanza attiva, ma soprattutto dotato di un nuovo sistema operativo costituito da un'urbanistica e da un progetto urbano avanzati, capaci di rispondere alle mutate domande della contemporaneità. La quarta parola chiave è produttività perché le città del futuro prossimo dovranno incentivare la territorializzazione dei *makers* all'interno di un nuovi distretti urbani creativi/produttivi per stimolare, agevolare e localizzare adeguatamente il ritorno della produzione nelle città, nelle forme delle nuove manifatture digitali, per la ricostituzione di una indispensabile base economica delle città, dopo gli anni della euforia per la città dei servizi. Ma la città dovrà anche essere sempre più creativa attraverso l'uso integrato della cultura, della comunicazione e della cooperazione (le 3C della città creativa) come risorse per una città attiva in grado di generare una nuova forma e una diversa crescita fondate sull'identità, sulla qualità e sulla reputazione. Una città aumentata si fonda sul riciclo degli edifici e della aree dismesse e pertanto chiede una metamorfosi del paradigma basato non solo sulla riduzione, il riuso e il riciclo delle sue risorse materiali e immateriali, ma in grado di disegnare una nuova forma territoriale in grado di cogliere le opportunità del metabolismo circolare, inserendo anche il 'riciclo programmato' tra le componenti del progetto. Una città aumentata è quindi resiliente perché accetta la sfida dell'adattamento come dispositivo progettuale per insediamenti iper-ciclici e autosufficienti capaci di combattere proattivamente il cambiamento climatico, producendo e distribuendo efficacemente il "dividendo della resilienza": non solo nuova moneta di scambio nella economia della transizione verso lo sviluppo decarbonizzato, ma anche strumento di una perequazione ecologica urbana. L'ottava parola chiave è la fluidità che chiede di ripensare la porosità e la liquidità urbana come paradigmi proiettivi per i progetti di

rigenerazione urbana che traggano dall'acqua la loro carica identitaria, producendo nuove configurazioni spaziali a partire dal rinnovo dell'interfaccia città-porto non più come luogo-soglia ma come produttore di potente nuova identità urbana. Nell'orizzonte metropolitano, in cui anche l'Italia sta procedendo con importanti aspettative e necessari miglioramenti, è la reticolarità che definisce il passaggio da un ecosistema tradizionale basato su un obsoleto modello gravitazionale verso un nuovo e più efficace modello aumentato, iper-metropolitano basato su un'armatura di super-organismi metropolitani e arcipelaghi territoriali in grado di strutturare il sistema paese. Infine, una città aumentata è strategica perché assume l'integrazione delle componenti temporale, gestionale, collaborativa e adattiva come necessarie per rispondere alla necessità di un approccio multi-dominio e multi-attore, temporalmente orientato e indirizzato all'azione entro un modello di sviluppo meno consumatore e più produttore, in grado di attivare diversi cicli vitali per riattivare distretti, città e paesaggi, meno finanziario e più cooperativo, più metabolico e meno occasionale.

La città aumentata deve agire come una innovazione che connette paradigmi e dispositivi della pianificazione e della gestione urbana, non accontentandosi di essere una nuova definizione tra le tante generate dalla bulimia lessicale in cui si trova la disciplina nel suo impegno di rinnovamento. Progettare la città aumentata richiede una continua sperimentazione delle sue declinazioni spaziali, sociali, culturali ed economiche in grado di aumentare l'intelligenza collettiva dei suoi abitanti. Ha bisogno di alimentare una nuova agenda urbana che connetta le pratiche più sensibili, i nuovi apparati normativi e le mutazioni economiche emergenti.

La Città Aumentata richiede quindi di percorrere la sfida del progetto urbanistico come connessione di livelli, di persone e di luoghi.

## ENERGY, ENTROPY AND COMPLEXITY



*Professor of Chemistry and Physics of Energy & Sustainability at the University of Siena. Vice Chancellor for Energy and “Grandparent” SECEM (European System Certification Energy Management). Since 2013 he is the Italian Representative for the EU Energy Programme HORIZON 2020 Director Ministry of Education for the SET-Plan. Author of several books and papers in international journals of physical chemistry and energy. In 2014 he was awarded the gold medal SCI for significant contribution in the energy-environment.*

Clean Energy does not exist. The only clean Energy is the one we do not need to use, i.e. the saved one. Therefore the right choice in energy strategy should be in terms of a costs/benefits analysis and oriented to minimization of the environmental impact. Classic thermodynamics and in particular the II Principle are the basis of this. In fact the unidirectional flow of time, implicit in the thermodynamics laws, connects concepts, apparently very far from each other, like order, probability and information. It is clear that the content of information of energy sources is specific and not unlimited in nature. The only exception are renewables. Then the rationale and efficient use of energy (entropy saving) is the first pillar of the environmental sustainability. The second pillar of sustainability is the necessary replacement of fossils with low carbon sources directly or indirectly connected with solar activity. Examples of energy saving and developments of renewables suggest a variety of good practices for Energy Planning in agreement with thermodynamics basis of sustainability. In the second part of the paper, thermodynamics of the isolated systems is replaced by that governing the open ones. This shows the connections of Energy with the science of complexity, with the introduction of far from equilibrium thermodynamics and dissipative systems which are more suitable for modeling natural events and facing environmental problems.

# PREFAZIONE

## Energia, entropia e complessità

Riccardo Basosi

Il termine “Complessità” definisce in ambito scientifico il nuovo paradigma che sostituisce il paradigma deterministico e lineare della fisica classica. Questo ultimo assumeva di poter prevedere con sufficiente livello di approssimazione le dinamiche del mondo reale e di poter predire gli sviluppi di un sistema una volta conosciute la posizione iniziale e le regole di evoluzione (tipico esempio il moto dei pianeti). La teoria della Complessità nasce dalla constatazione che nei sistemi complessi l’impredicibilità non deriva solo dall’insufficienza dei nostri mezzi di conoscenza, ma è una caratteristica intrinseca della “non linearità” (1-5). Per i sistemi complessi, molto diffusi nel mondo reale, determinismo e predicibilità non possono essere usati come sinonimi. In sostanza esistono in natura sistemi deterministici non predicibili per i quali vale la regola della “dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali” e nei quali l’evoluzione da condizioni iniziali molto simili differisce rapidamente in modo esponenziale divenendo imprevedibile e assumendo quindi la forma di una sequenza di eventi casuali. Il nostro universo fisico e biologico è un universo di instabilità e fluttuazioni che sono all’origine dell’incredibile varietà di forme e strutture che vediamo intorno a noi. Una tipica caratteristica fenomenologica di un “sistema complesso” è quella di essere costituito da una moltitudine di subunità interagenti per le quali è a prima vista impossibile stabilire una gerarchia di funzioni. Questa caratteristica del sistema “complesso” lo differenzia drasticamente anche dal punto di vista semantico da quello che nel linguaggio comune è spesso erroneamente usato come suo sinonimo: un sistema

“complicato”. Conviene considerare quest’ultimo come la somma meccanica delle parti costituenti senza particolari effetti di interazione, relazione, interdipendenza e di retroazione (*feed-back*). La confusione tra i due termini dipende dal fatto che entrambi hanno un comune contrario nel termine “semplice”. Gli oggetti costruiti dall’uomo e quindi pensabili come insieme di parti separabili possono essere al massimo complicati, mai complessi. Tutto ciò che è vivente è complesso. Può quindi essere studiato solo con un approccio sistemico. Infatti nella vita reale tutti i sistemi ecologici sono complessi e spesso la loro esistenza dipende da un insieme di fattori e di equilibri che li mantengono in situazione di stazionarietà. Per essi quindi una piccola modificazione delle condizioni iniziali può portare rapidamente ad uno stato del tutto differente la cui caratteristica è la progressiva degradazione e l’allontanamento dalle condizioni di complessità che rappresentavano le condizioni base della loro esistenza. L’imprevedibilità dell’effetto dell’azione antropica sull’ambiente esterno è quindi tipica della complessità ambientale. Questi elementi risultano particolarmente significativi nelle attività di produzione di Energia che sono sempre accompagnate da un aumento dell’Entropia e conseguente riduzione della Complessità Ambientale.

La crisi dei tre sistemi ambiente, sistema produttivo e sistema economico non sembra risolvibile intervenendo su di loro separatamente. La possibile soluzione coinvolge complesse interazioni tra i tre sistemi in cui si sviluppa l’attività umana (6-8). Infatti il sistema economico vive sui beni forniti dal sistema produttivo che si fonda sulle risorse dell’ecosistema.

1. Schema delle connessioni tra i sistemi economico, produttivo ed ecosistemi



Se tutto funzionasse secondo un ideale razionale il sistema economico dovrebbe adattarsi alle necessità dell'ecosistema, ma nella realtà essendo il sistema economico basato sulla massimizzazione del profitto tenderà ad imporre al sistema produttivo una organizzazione che di fatto porta a scaricare diseconomie sull'ambiente e quindi a degradare l'ecosistema. In questo sistema complesso il legame tra i tre sottosistemi fondamentali è espresso dall'Energia. Essa, irradiata dal sole, muove i grandi cicli ecologici, estratta dai combustibili fossili muove i processi produttivi, infine il suo uso è alla base della efficienza e della produttività economica (vedi Figura 1). Lo strumento per penetrare i segreti dell'Energia è offerto dalla Termodinamica, la scienza che ne studia le trasformazioni (9).

## Termodinamica e unidirezionalità del tempo

Il primo Principio della Termodinamica dice che l'Energia dell'universo è costante. Il secondo Principio dice che l'Entropia dell'Universo aumenta sempre. Insieme ci dicono che la scala termodinamica della qualità dell'Energia è una scala molto facile da discendere e molto difficile da risalire. Infatti se pur è vero che l'Energia è un concetto astratto che si esplica in forme molto diverse, tali forme non sono equivalenti e possiedono qualità pratiche ed anche economiche molto diverse. Tali qualità più o meno nobili sono ben espresse da una scala di valori di Temperatura. La Termodinamica è molto diversa dalle altre discipline fisico/sperimentali. In primo luogo perchè la maggior parte delle leggi della fisica è stata stabilita allo scopo di spiegare processi che accadono spontaneamente in natura (per es. una mela che cade sulla testa di Newton suggerisce l'esistenza della legge di gravitazione universale, il pendolo di Galileo ecc.). Le leggi della Termodinamica sono nate in modo opposto essendo basate sul fatto sperimentale che qualcosa concepito dagli esseri umani non può accadere in natura e che un concetto eminentemente umano come il moto perpetuo non può essere realizzato effettivamente.

Come dice il grande Feynman la Termodinamica razionalizza l'insuccesso umano: è quindi più umana delle altre scienze ed è più facile da usare che da capire. L'altra questione che rende la Termodinamica diversa dalle altre scienze è il fatto che in essa è implicita la distinzione tra passato e futuro. Questo aspetto che sembra molto distante da qualsiasi quotidiana pratica energetica è invece intimamente connesso con essa. Consideriamo per esempio una brocca che cade da una certa altezza e si rompe. Al momento della rottura succede qualcosa di importanza cosmica: la cessione al pavimento e ai pezzi rotti di una infinitesima quantità di calore che non è più recuperabile. È proprio questa infinitesima quantità di calore che impedisce che il fenomeno della brocca che cade sia reversibile.

Infatti se proiettiamo il film della brocca che cade all'incontrario, e vediamo i pezzetti della brocca rimettersi insieme da soli e poi la brocca saltare di nuovo sul tavolo da cui è caduta, si ride. Ridendo esprimiamo la coscienza generale che quel fatto reso possibile dal trucco cinematografico nella vita reale non succede mai. Nella vita reale le brocche cadono e si rompono. Non capita mai che si ricompongano da sole e saltino sui tavoli.

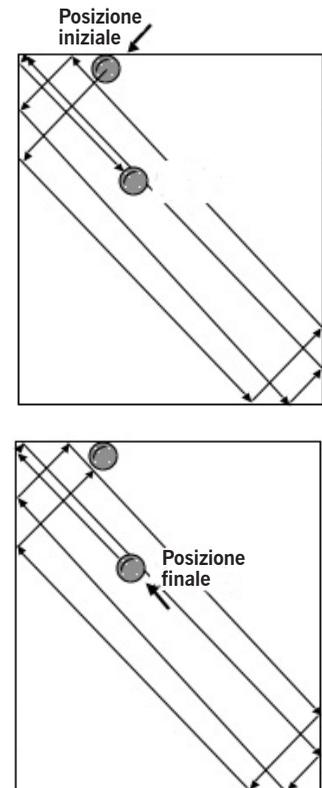
Se facciamo la stessa esperienza con una palla da biliardo che batte contro una sponda (vedi Figura 2), e proiettiamo il film prima in un modo e poi al contrario non sapremo mai dove dobbiamo ridere. Tutto ciò ci dice che la meccanica è simmetrica rispetto al tempo mentre la Termodinamica no. Essa contiene la percezione universale dello scorrere del tempo in un'unica direzione.

Immaginiamo un tavolo da biliardo diviso in due parti da una barriera mobile e supponiamo che da una parte vi sia un certo numero di palle rosse e dall'altra un egual numero di palle bianche. Supponiamo inoltre che il piano sia del tutto privo di attrito in modo che le palle possano muoversi, saltellare, urtarsi ed andare qua e là proprio come le molecole d'acqua. All'interno di ciascun gruppo di palle, il moto è del tutto casuale, ma ciascuna parte del tavolo è dotata di un certo ordine, dato che le palle rosse restano da una parte della barriera e quelle bianche dall'altra. Rimuoviamo ora la barriera. Se l'agitazione delle palle continua, le palle rosse e quelle bianche gradualmente si mescoleranno fino a che entrambi i tipi saranno, in media, ugualmente distribuiti su tutta l'estensione del tavolo.

Il mescolamento, la scomparsa dell'ordinata separazione delle palle è un processo inevitabile, spontaneo ed unidirezionale. Filmando l'intero processo e proiettando la pellicola al contrario si potrebbe infatti assistere al fenomeno paradossale in cui un raggruppamento casuale di palle rosse e bianche gradualmente si riordina fino a separarsi in due gruppi, uno di sole palle rosse ed uno di solo palle bianche. Questo esperimento ideale dimostra come il processo reale sia spontaneo ed irreversibile, è una delle molte dimostrazioni dell'unidirezionalità del tempo e di un evento naturale il quale crea di per sé disordine se avviene all'interno di un sistema che sia inizialmente ordinato.

Un castello di sabbia costituisce un esempio ancora più banale della trasformazione spontanea e irreversibile dell'ordine in disordine. Un castello di sabbia è evidentemente una disposizione di granelli più ordinata di quella che si può trovare in qualsiasi pezzo di spiaggia. Tutti i granelli di sabbia, facciano parte o no del castello, sono soggetti a moti casuali loro imposti dalla bizzarria del tempo, cioè vento e acqua; in un lasso di tempo relativamente breve, questi moti casuali trasformeranno spontaneamente la disposizione ordinata del castello di sabbia nel disordine del resto della spiaggia: i castelli di sabbia spontaneamente non si formano, possono soltanto scomparire. Una vecchia capanna può essere un altro esempio: se l'attività dell'uomo non si oppone all'azione casuale del tempo e del

2. Bidirezionalità delle traiettorie in un sistema meccanico classico



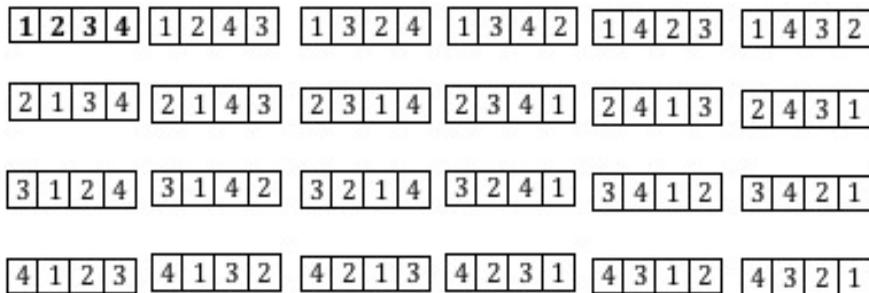
vento, la disposizione ordinata di assi e tavole, si riduce ben presto ad un ammasso informe; e nessuno ha mai visto un ammasso informe di assi e tavole riordinarsi spontaneamente a formare una capanna.

Si sono finora usati i termini di ordine e disordine secondo il loro normale uso nel linguaggio comune; poiché il concetto che regola la definizione termodinamica di ordine avrà un ruolo cruciale nel valore pratico delle leggi energetiche, a questo punto è utile stabilire cosa significa ordine nel senso più restrittivo. In ciascuno dei casi precedenti il disordine è rappresentato da una situazione in cui l'apparenza esterna dell'oggetto è consistente con un gran numero di possibili disposizioni interne diverse, mentre l'ordine aumenta quando l'apparenza esterna ne permette un numero minore. Così, vari mucchi di legname possono avere lo stesso aspetto esteriore pur avendo al loro interno le singole tavole disposte in migliaia di modi diversi. Però, se le stesse tavole di legno devono avere l'apparenza esteriore di una capanna, il numero delle possibili disposizioni interne è molto ridotto. In altri termini, la struttura complessiva di una capanna consente un numero di disposizioni interne nelle tavole minore di quello consentito dalla struttura di un mucchio di legna. Così, in senso termodinamico, l'ordine è una misura del livello al quale le proprietà complessive di un sistema fisico determinano la selezione di una particolare disposizione interna della parti costituenti.

L'ordine esprime la relazione tra le proprietà dell'interno e le proprietà delle sue parti; ordine significa che il totale non è una semplice somma delle proprietà delle parti ma che è fortemente influenzato dalle relazioni fra di esse, in particolare dal modo in cui queste relazioni sono limitate o costrette. Il totale, l'intero costituisce quindi un sistema il cui comportamento è notevolmente influenzato dalla sua struttura interna. Come si è detto prima, i processi spontanei ed irreversibili sono gli eventi che materializzano il trascorrere unidirezionale del tempo e il sistema che ne partecipa termina con un grado di ordine inferiore a quello che aveva all'inizio. È l'esistenza di un ordine precedente che ci fornisce un modo per valutare il passare del tempo. Sono queste le basi del secondo principio della termodinamica che, assieme al primo principio, regola il rendimento di un processo energetico. Il secondo principio afferma un solo fatto, ma di importanza cosmica: l'Universo diventa costantemente ed irreversibilmente meno ordinato di quello che era. Questo comportamento dell'Universo spiega l'unidirezionalità degli eventi e l'irrimediabile passare del tempo. Anche la probabilità entra nel quadro poiché è fondamentalmente connessa con la presenza dell'ordine nel mondo. La probabilità è una dichiarazione circa la verosimiglianza del manifestarsi di un certo particolare evento fra tutti i possibili eventi che possono manifestarsi in un dato sistema. Le combinazioni di 4 numeri sono date da  $4!$  (4 fattoriale =  $4 \times 3 \times 2 \times 1$ ) e cioè 24

possibilità. La disposizione ordinata è una o al massimo due su 24 (vedi Figura 3). Con 52 carte la disposizione ordinata è di una su 52! (cioè 1 seguito da 46 zeri!).

3. *Combinazioni possibili di quattro numeri, quattro a quattro*

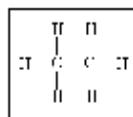


Quando si lancia una moneta si hanno in totale due soli possibili risultati e la probabilità di ciascuno di essi è 1/2, analogamente la probabilità che nel lancio di un dado esca un numero è 1/6. Così se il numero di possibili alternative è piccolo, la probabilità di ciascuna è alta. La relazione fra probabilità e ordine è quindi evidente: una bassa probabilità corrisponde ad una scelta particolare fra molte possibilità ed è equivalente all'ordine, corrispondente al fatto che le parti di un sistema possono assumere solo relativamente poche tra le molte possibili disposizioni interne. Poiché sappiamo che con il passare del tempo una disposizione ordinata diventerà spontaneamente meno ordinata, ne segue che una situazione improbabile tenderà con il passare del tempo a trasformarsi in una situazione più probabile. Questo è un altro modo di enunciare il secondo principio della termodinamica: ogni sistema lasciato a se stesso tenderà in media a raggiungere lo stato con una probabilità massima.

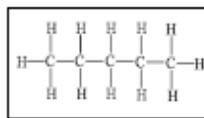
Si noti che il secondo principio non sostiene che il sistema passerà necessariamente in una configurazione più probabile ma solo che questo accadrà in media, cioè qualche particolare cambiamento potrà andare in un altro senso, ma con bassa probabilità. D'altra parte la probabilità è strettamente connessa con l'informazione. In termini molto generali, l'informazione consiste quindi nell'esclusione di alcune tra le possibili disposizioni alternative di un sistema. L'informazione è quindi analoga ad una diminuzione di probabilità e ad un aumento di ordine, per cui il secondo principio può essere enunciato: ogni processo spontaneo ed irreversibile che si realizza in un sistema isolato dà come risultato una diminuzione di informazione.

Le formule chimiche delle strutture ordinate mostrate in Figura 4 rappresentano situazioni estremamente improbabili e ad alto contenuto di informazione. Questa informazione è stata accumulata nei combustibili fossili dalla natura nel corso di milioni di anni. La teoria dell'informazione è un aspetto relativamente nuovo della scienza che ha recentemente assunto una notevole importanza pratica a causa delle sue implicazioni nel campo della progettazione dei calcolatori.

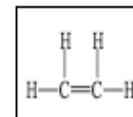
4. Formule chimiche di alcuni idrocarburi con crescente ordine strutturale



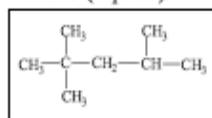
Etano (liquido)



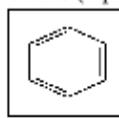
Pentano (liquido)



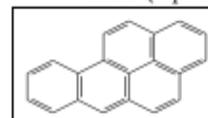
Etene (liquido)



Isoottano (liquido)



Benzene (liquido)



Benzopirene (solido)

Un calcolatore genera informazioni che selezionano una certa configurazione di scelte in una serie di alternative possibili; una scelta è normalmente determinata dalla posizione chiusa o aperta di un interruttore.

La scelta di una delle due possibili posizioni dell'interruttore rappresenta una unità di informazione cioè il *bit*. Il programma del calcolatore specifica la posizione che deve essere assunta da ciascuno di una serie di interruttori interconnessi, e la quantità totale di informazione interessata è la somma dei *bit* che rappresentano le scelte fatte a tutti gli interruttori. Un altro esempio che mostra la connessione fra informazione e probabilità è quello delle lettere dell'alfabeto. Una lettera poco probabile (come nella lingua italiana la "z" o la "q") ha un alto contenuto di informazione rispetto ad una lettera più probabile (come alcune vocali), quindi l'individuazione di una lettera poco probabile dà informazioni maggiori nella risoluzione di problemi enigmistici come le crittografie e le parole crociate.

La struttura del secondo principio della Termodinamica collega un corpo di conoscenze molto importanti e relative alla spontaneità e all'irreversibilità dei fenomeni naturali, al grado di ordine e di disordine dell'universo e al significato della probabilità e dell'informazione. L'affermazione chiave del secondo principio è quella che i fenomeni spontanei che costituiscono gli eventi reali del mondo in cui viviamo portano sempre a stati che sono meno ordinati e più probabili e che contengono meno informazione rispetto agli stati da cui hanno preso l'avvio. Questo significa che ogni processo irreversibile spontaneo diminuisce l'ordine dell'universo e lo porta verso uno stato più probabile che contiene meno informazione di prima: qualunque cosa accade nel mondo porta nella direzione di questo baratro. Il secondo principio dice che anche processi naturali di questo tipo possono essere invertiti mediante applicazione di energia, ma ciò può essere fatto solo a spese di un ulteriore decadimento dell'ordine complessivo del mondo e cioè con un aumento dell'Entropia.

## Il Problema Energetico

Le tessere del mosaico che la realtà ci offre quotidianamente lasciano intravedere che la temuta crisi di risorse energetiche è ormai in atto: i consumi occidentali e, soprattutto, dei paesi in via di sviluppo (India e Cina) crescono vertiginosamente, l'economia basata sui combustibili fossili (petrolio, carbone e gas) e nucleare deve fare i conti con la limitatezza delle risorse esauribile in tempi ravvicinati con la sola eccezione del carbone che però è il meno pulito. Le ultime stime dicono che trend invariati il Petrolio basterebbe per 40-55 anni, il gas da 55 a 70, il Carbone da 110 a 235 e l'Uranio da 40 a 45 mostrando così di non essere, con le tecnologie attuali, il sostituto plausibile.

I singoli eventi rivelano chiaramente questa situazione di sofferenza:

- guerre in aree geografiche di produzione petrolifera, una vera e propria corsa alle ultime riserve;
- raddoppio e imprevedibilità, in pochi anni, del prezzo del petrolio;
- tentativo di sviluppo di programmi nucleari, tecnologia che di fatto non si è mai totalmente affermata: anche a causa delle questioni legate alla sicurezza ed all'ambiente, con particolare riferimento all'irrisolto problema del confinamento delle scorie. Anch'essa poi si basa su risorse minerali esauribili e geograficamente meno distribuite del petrolio e dei combustibili fossili in generale.

In Paesi, come l'Italia, che dipendono in maniera pressoché totale dalle forniture energetiche esterne, sono sempre più frequenti le occasioni che mostrano questa debolezza strategica. D'altra parte i vincoli di natura ambientale imposti dall'applicazione del protocollo di Kyoto possono trasformarsi in una grande opportunità di sviluppo tecnologico ed economico se le politiche energetiche cammineranno sulle due gambe rappresentate dall'uso razionale ed efficiente dell'energia e sullo sviluppo delle fonti rinnovabili. Per quanto riguarda la prima gamba è bene ricordare che l'unica energia pulita è quella che non si usa (o che non c'è bisogno di usare, quindi risparmiata). Nel passato la questione energetica è stata tradizionalmente affrontata a partire da una logica di offerta, in particolare energia elettrica, sulla base del consumo presunto e con un approccio di natura settoriale, non in grado di tenere conto delle interdipendenze e delle retroazioni esistenti tra il settore energetico e gli altri settori economici, e all'interno del sistema energetico stesso. È evidente l'inadeguatezza di una programmazione energetica disattenta alla dinamica effettiva del fabbisogno energetico in base agli usi finali a partire dalla qualità effettiva della domanda. Quest'ultima infatti è caratterizzata da una forte differenziazione qualitativa che possiamo schematizzare in: elettrica, termica ad alta temperatura, termica a media o bassa temperatura, meccanica (combustibili

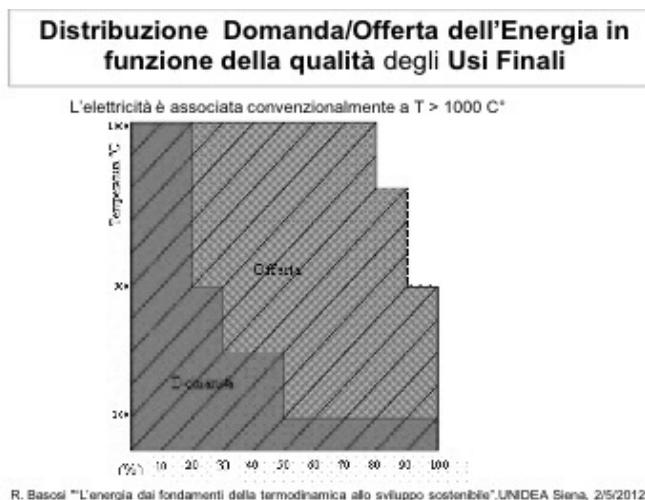
5. Petrolio: dimensioni dei paesi basate sulle riserve



6. *Distribuzione della Domanda e dell'Offerta dell'Energia in funzione della qualità nel sistema Italia*

tal quali per autotrazione ecc il cui contenuto informativo è paragonabile a quello di energia ad alta temperatura). A questa forte differenziazione della domanda reale si è risposto spesso con un'offerta energetica sostanzialmente indifferenziata basata quasi esclusivamente su energia elettrica e gas metano, entrambe forme di energia di alto pregio e ad alto contenuto calorico. La mancata correlazione della qualità dell'uso finale dell'energia ad un'offerta altrettanto diversificata ed appropriata è alla base dell'inefficienza dei sistemi energetici e anche di quello Italiano, ed è la causa prima dello spreco delle risorse.

La Figura 6 mostra sinteticamente la Distribuzione della Domanda e dell'Offerta dell'Energia in funzione della qualità nel sistema Italia.



La zona rossa rappresenta la domanda di energia negli usi finali in funzione della qualità dell'energia espressa convenzionalmente in funzione della temperatura (l'energia elettrica è associata a  $T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); la maggior parte della domanda è rappresentata da energia a bassa temperatura (tra 100 e 250  $^{\circ}\text{C}$ ). La zona grigia rappresenta invece l'offerta di energia la cui qualità è indifferenziata rispetto alle esigenze della domanda. (Fonte: elaborazione dell'autore su dati GSE 2012)

Particolare attenzione deve essere posta nei confronti dell'energia elettrica e dei suoi usi finali, in virtù dell'alto contenuto d'informazione di questa forma di energia evitandone usi impropri e quindi scorretti. Come esempio negativo possiamo portare l'eccesso di scaldabagni elettrici presenti nelle abitazione del nostro Paese, il Paese del sole.

La perdita energetica di uno scaldabagno elettrico per produrre acqua calda per uso sanitario è vicina al 96%. Si perde quindi grazie all'uso improprio dell'energia elettrica per ottenere acqua calda a 60 C° il 96% del contenuto informativo del combustibile fossile bruciato per produrre quella preziosa energia elettrica.

Ma ancora nel nostro Paese gli scaldabagni elettrici (svariati milioni) rappresentano ancora la maggioranza degli scaldabagni come rilevato dall'ISTAT.

In pratica nell'Italia del *black-out* una grande centrale elettrica di oltre 1000MW di potenza lavora solo per permetterci di scaldare l'acqua in un modo inefficiente ed irrazionale.

Ad una analisi attenta si vede che buona parte della domanda elettrica negli usi finali, sia nell'industria che nei settori civile e terziario, è finalizzata a scopi termici. La gerarchia qualitativa delle differenti forme energetiche impone dei vincoli di cui la pianificazione energetica dovrebbe tenere conto in fase di programmazione/ installazione di nuovi impianti e nella fase di riordino del sistema.

La pianificazione energetica, in un'ottica integrata, deve essere basata sui concetti di "localizzazione" e di "uso razionale" dell'energia.

La localizzazione consiste nella mappatura o georeferenziazione delle diverse tipologie di domanda energetica presenti sul territorio: si tratta in pratica di localizzare i siti dove viene richiesta principalmente energia termica a bassa temperatura piuttosto che i siti dove invece è preminente la domanda elettrica. La necessità di localizzare la domanda termica è dettata dalla termodinamica.

Il trasferimento di calore a distanza è ovviamente soggetto a fenomeni di dispersione e di raffreddamento; questo impone che l'installazione di centrali (cogenerative) con funzioni preminentemente termiche, debba essere posizionata a più breve distanza possibile dall'utenza finale. Le stesse ragioni termodinamiche impongono vincoli sulla dimensione, o la taglia, degli impianti: la possibilità di tenere conto della diversificazione della domanda e contemporaneamente ridurre i consumi di risorse migliorando l'efficienza energetica della produzione e la razionalità negli usi finali è data tecnologicamente dalla cogenerazione.

## Sistemi isolati e sistemi aperti

Abbiamo visto come nei sistemi isolati la caratteristica dell'entropia è di tendere ad aumentare fino a raggiungere un massimo. Massima entropia significa massimo disordine, e quindi massima probabilità che un evento si verifichi e contemporaneamente minima informazione sull'evento stesso.

L'auto organizzazione dei sistemi complessi appare come una contraddizione del principio del massimo disordine quando si cerca di razionalizzare tali sistemi con le semplici leggi della Termodinamica classica. Tali leggi definiscono come

sistema isolato un sistema che non scambia né energia né materia con l'esterno del sistema (mentre un sistema chiuso scambia solo l'energia, ed un sistema aperto le scambia entrambe). Un sistema isolato quindi, non verrà disturbato dall'esterno, e la sua tendenza sarà sempre quella di andare verso il massimo disordine cioè di aumentare la sua Entropia avendo come unico limite le condizioni di reversibilità che manterrebbero l'Entropia costante: tenderà a raggiungere lo stato di equilibrio. La termodinamica classica, cioè la Termodinamica dei sistemi reversibili, assume che una trasformazione possa avvenire passando da uno stato di equilibrio ad un altro. Questo è un assunto esemplificativo, poiché lo stato di equilibrio esiste solo in un sistema isolato. L'unico esempio di sistema termodinamico isolato è l'Universo: esso tende all'equilibrio, anche se ne è ancora lontano.

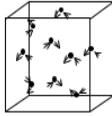
Fino ad ora abbiamo considerato i sistemi quando questi hanno raggiunto l'equilibrio. In realtà noi operiamo questo assunto in quanto i sistemi di questo tipo sono più facilmente misurabili. Nella realtà e per i sistemi non isolati la situazione del massimo disordine non è l'unica condizione, per esempio, se il sistema è sottoposto a dei vincoli.

Supponiamo di avere un recipiente contenente particelle di gas rarefatto. Se la temperatura è alta il moto sarà disordinato ed il sistema tenderà (come già visto) alla massima entropia (massimo disordine e minima informazione). Se diminuiamo la temperatura le particelle tenderanno ad addensarsi alla base del recipiente perché risentiranno della forza di gravità. Addirittura se alla base del recipiente c'è una buca esse tenderanno a collocarsi nella buca stessa. Quindi per un sistema non propriamente isolato, ma chiuso, il raggiungimento della massima entropia è compensato dalla ricerca della minima energia. Di conseguenza se la buca è costituita da una serie di fori simmetrici non c'è da stupirci se le particelle vi si collocheranno in maniera ordinata. Un esempio correlabile a questo è la neve. Come è noto la neve è costituita da fiocchi, che hanno la struttura di cristalli di ghiaccio estremamente simmetrici ed ordinati. Quando nevicata la temperatura aumenta: infatti l'ordine strutturale dei cristalli determina come conseguenza del trasferimento di disordine calore rilasciato nell'ambiente.

Anche per l'universo si devono verificare le stesse condizioni. Esso tende all'equilibrio ed al massimo disordine, però in esso si ritrova ordine funzionale e autorganizzazione del sistema. Questo è comprensibile, viste le considerazioni fatte, ma quando c'è stata la discontinuità e soprattutto per quali condizioni?

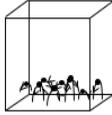
Le teorie sull'origine dell'Universo (come quella del Big-Bang) cercano di dare una spiegazione del momento iniziale.

Tuttavia, il mistero della vita non è nell'evoluzione dei fenomeni a partire da certe condizioni iniziali, complesse e organizzate, ma come tali complesse e organizzate condizioni iniziali si siano realizzate.

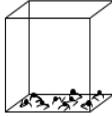


ALTA TEMPERATURA:

*le bilie si muovono*

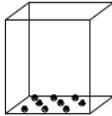


*velocemente e riempiono la  
scatola in maniera uniforme*



SE SI SOTTRAIE CALORE:

*la velocità delle bilie*



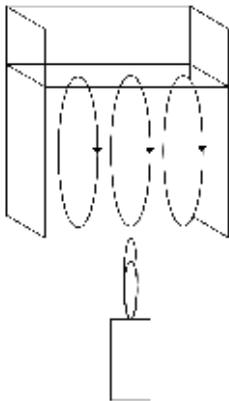
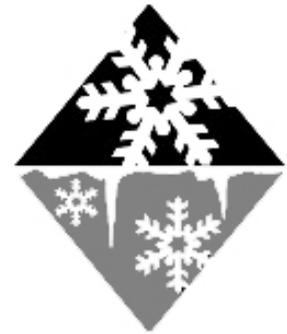
*diminuisce ed esse*

*cominceranno a risentire*

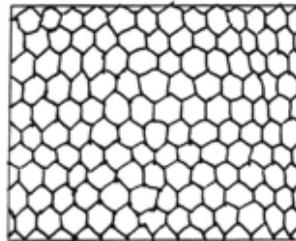
*della forza peso*

7. Gas rarefatto in un recipiente chiuso: un sistema non isolato, ad alta temperatura tende ad arrestarsi nella configurazione di massima entropia, a bassa temperatura, tende a raggiungere la situazione di minima energia.

8. Cristalli di ghiaccio che compongono un fiocco di neve: a bassa temperatura le molecole di acqua vanno a disporsi nella configurazione di minima energia. Contemporaneamente alla formazione dei fiocchi il sistema (nuvola) deve cedere calore all'esterno (ambiente). L'ordine può essere ottenuto soltanto trasferendo disordine altrove.



*All'interno si generano delle correnti di convezione. Tali "celle di convezione" sono delle specie di vortici regolari che in sezione sono molto prossimi ad esagoni.*



9. Un liquido posto in un recipiente sopra una fiamma. Il riscaldamento avviene come è noto attraverso moti convettivi, e non tramite irraggiamento, nonostante che la convezione sia un evento più "ordinato". Questo fatto non è contraddittorio perché il sistema in questione non è isolato ma esiste un flusso di energia che costituisce un elemento importante per la generazione di un ordine strutturale.