Giovanni Vittorio Pallottino

La fisica della sobrietà

Ne basta la metà o ancora meno

prefazione di Carlo Bernardini



edizioni Dedalo

Giovanni Vittorio Pallottino

La fisica della sobrietà

Ne basta la metà o ancora meno

prefazione di Carlo Bernardini

edizioni Dedalo

Le definizioni delle parole in grassetto verde si trovano nel Glossario finale.

© 2012 Edizioni Dedalo srl
Viale Luigi Jacobini 5, 70132 Bari
www.edizionidedalo.it

Tutti i diritti sono riservati.
Riproduzione vietata ai sensi di legge (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)

Prefazione

di Carlo Bernardini

Grazie, amico Pallottino: un libro così, razionale, non aggressivo o integralista, istruttivo e convincente, ci voleva. Per un motivo tanto semplice da essere ignorato come un'ovvietà a cui non abbiamo dato alcuna rispettosa considerazione per secoli, senza subirne conseguenze. «Sino ad oggi»: questo è il punto. Oggi, al mondo, c'è chi ha più benessere di quello che gli serve e c'è chi non ne ha affatto. Perciò, se qualcuno ne parla con competenza, bisogna sostenerlo in ogni modo: questo libro è uno strumento indispensabile della cultura contemporanea. E non mi lascerò scappare la possibilità di chiederne l'obbligatorietà nelle scuole.

Forse, addirittura iniziando dalla scuola primaria. Noi, tecnologicamente obesi, abbiamo avuto occasioni di essere sobri, ma non le abbiamo prese sul serio come necessario. Pallottino ricorda giustamente il Club di Roma che aveva incominciato a fare i «conti in casa» e a mettere gli sprechi a carico delle famiglie evolute. Oggi li riprendiamo quando gli sprechi sono ormai immani e il Decalogo di Lussino non fa parte del patrimonio pedagogico di avanguardia. Bene, smettiamola di arricciare il naso di snob pieni di arzigogolati comfort e impariamo un po' di regole di vita tecnologicamente sviluppata da tramandare a figli e nipoti con il loro esatto motivo e significato. Se la caloria ha avuto la sua apoteosi nella linea delle signore, cerchiamo quale è stato il suo significato nell'espansione degli obesi. C'è un Pallottino

bravo e competente che ci spiega come fare e, grazie a Dio, sappiamo ancora leggere.

Abbiamo già in casa ciò che serve: finestre, termosifoni, caldaie, cucine, forni a microonde, acqua calda e fredda, condizionatori, televisori, ecc.: guardatevi intorno; sapete forse qualcosa delle «efficienze» dei vostri acquisti, qualche numero significativo, quanto vi basterebbe e quanto ne sprecate? Se non lo sapete, siete spreconi imperdonabili, anche se lo spreco per ignoranza non è punito come il non sapere quanti erano i re di Roma o chi era Dante Alighieri. La punizione per queste ultime deficienze scolastiche è l'accusa di analfabetismo, mentre per quelle deficienze che chiameremo «umane» vista la loro diffusione, non c'è punizione, se non contiamo l'obesità e l'alleggerimento del portafoglio. Eppure, non è difficile acquisire tutti gli elementi tecnico-scientifici adatti a valutare il «rango» delle tecnologie di comune interesse. Ovviamente, l'elemento più ostico di queste conoscenze, tra i lettori comuni, saranno le unità di misura e i loro fattori di conversione: ricordo innumerevoli casi, anche in occasioni pubbliche, di «responsabili» che non riuscivano a distinguere il kilowatt dal kilowattora; e mi sono vergognato per loro...

Ciò che Pallottino scrive può e deve diventare il nuovo decalogo della nonna; la mia amata nonna che imponeva di risparmiare l'olio, di spegnere le luci inutili e di coprirsi bene; e al più offriva borse dell'acqua calda agli anziani, recuperava la parte buona delle pere e dava gli avanzi al cane o al gatto. I suoi figli andavano a piedi e a piedi facevano i due piani di scale per pranzare con lei; ma ho tirato in ballo la nonna non per solleticare gli affetti di chi spocchiosamene si mostra intollerante (ignorante!) verso la sobrietà; ma perché, con un riferimento popolare, voglio trasformare il problema in un fatto costituzionale. E ora mi dedico a questo, qui di seguito, perché è il momento di farlo esplicitamente, visti anche i rapporti che abbiamo con il resto del mondo, specie con chi non ha nulla, vive in media molto meno di noi e soffre molto di più. Chi nasce in una democrazia evoluta, come noi, ha molti diritti e molti doveri. Un bravo cittadino, dicono gli inglesi, è un *civil servant*, un servito-

re dello Stato. Che cosa fa un servitore dello Stato? Gode dei beni pubblici a lui «affidati», che si è assicurato facendo valere i suoi diritti. I beni pubblici sono anche chiamati «servizi», perché sopperiscono alle nostre necessità ricorrendo a tecnologie adeguate messe a disposizione dall'impiego dei soldi che paghiamo con le tasse. Secondo una diffusa immagine pubblicitaria televisiva che appare su richiesta del governo, chi non paga le tasse è un parassita della democrazia e, come altri parassiti mostrati nelle immagini, è un essere repellente. Insomma, dobbiamo avere cura dei beni pubblici, specie se riguardano i consumi: se consumiamo troppo, stiamo privando qualcun altro di un bene che, essendo comune, è anche un po' suo. Dunque, per essere cittadini che non hanno colpe pendenti, dobbiamo sapere cosa facciamo quando usiamo correttamente i beni pubblici. Quanti cittadini sono in regola con questa «cultura del bene pubblico»? Pochi, temo. Per questo, mi sembrerebbe necessario e ovvio che l'istruzione che si compie prima della maggiore età avesse un insegnamento e un esame obbligatorio in cui si appuri la conoscenza che i ragazzi hanno (e, speriamo, anche gli insegnanti) dei problemi d'uso dei beni pubblici. Mi è stato detto che i ragazzi, i bambini, imparano volentieri a differenziare la raccolta dei rifiuti. Bene. Ma andiamo avanti! Da questo punto di vista, il libro di Pallottino, senza essere estremista, è per me un libro che non esito a definire «rivoluzionario» (e mi scuso con lui degli involontari connotati eversivi che questa aggettivazione potrebbe avere nella nomenclatura giornalistica contemporanea). E ringrazio l'autore che ha avuto la sensibilità di scriverlo come un vero democratico altruista. Ma ora, usiamolo!

Premessa

È possibile continuare sulla strada dei consumi crescenti da parte di un numero di persone a sua volta crescente? Evidentemente no. Eppure questa consapevolezza non è particolarmente diffusa, e comunque non sembra sia sufficiente a indurre qualche cambiamento negli stili di vita. È ben possibile, d'altra parte, contenere o addirittura ridurre i nostri consumi senza peggiorare la qualità della vita, magari addirittura migliorandola. Di qui il richiamo alla virtù desueta, un po' impolverata, della sobrietà. Alla quale del resto fanno appello autorevoli correnti di pensiero e libri sempre più numerosi.

Tuttavia, piuttosto che fare altri discorsi, ho ritenuto utile porre in luce la fisica e la tecnologia che contribuiscono efficacemente a condurci sulla strada della sobrietà, attraverso la discussione concreta di un'ampia serie di casi pratici riguardanti la vita quotidiana. Arrivando così a mostrare che in realtà, e senza problemi, di tante cose ne basta la metà, e magari anche meno. E quindi la sobrietà, nell'ottica di riferirla ai suoi fondamenti scientifici, acquista connotazioni positive e può trovare più facilmente spazi concreti di attuazione.

Nel frattempo è esplosa la crisi economica. E proprio di sobrietà si è cominciato a parlare parecchio, tanto che sembra entrata a far parte dei nuovi indirizzi governativi. Ma questa sobrietà calata dall'alto non appare particolarmente motivante.

A differenza invece di quella basata su precisi richiami alle sue possibilità concrete, come esposto in quanto segue.

E qui voglio ringraziare le persone che hanno avuto la pazienza di leggere il manoscritto, esprimendo particolare gratitudine a coloro che hanno aiutato a migliorarlo con suggerimenti e indicazioni, fra cui i colleghi Massimo Bassan, Gianni Bachiddu, Carlo Bernardini, Domenico Coiante, Carlo Cosmelli e Roberto Habel.

1. Introduzione alla sobrietà

Per molte e molte migliaia di anni l'umanità ha utilizzato soltanto il necessario, per il semplice motivo che non disponeva del superfluo. E in realtà, spesso, non disponeva neppure del necessario, come del resto avviene anche oggi in tante parti del mondo (c'è oltre un miliardo di persone il cui reddito non arriva a 1 dollaro al giorno).

In quei tempi lontani si utilizzava il cibo fino all'ultima briciola e quel poco che risultasse immangiabile era destinato a nutrire gli animali. Perché la scarsità di cibo era una realtà quotidiana, tanto che ci si poteva veramente saziare soltanto una volta l'anno, in occasioni quali il termine del raccolto o l'uccisione del maiale. Si era attenti a non sprecare l'acqua, usandone lo stretto necessario, perché proveniente da una fontana distante o tirata su a fatica da un pozzo. Si badava a non consumare troppa legna per riscaldarsi, e soltanto quando faceva freddo davvero. Si andava a letto piuttosto presto, al calar del sole, per non consumare l'olio delle lanterne. Gli oggetti che si utilizzavano erano, di necessità, pochissimi: solo eccezionalmente nuovi, di solito riparati alla men peggio. E il guardaroba consisteva spesso di un unico vestito, rattoppato di tanto in tanto.

Ancora un paio di generazioni fa, per rinnovarli, si usava «rivoltare» i vestiti e i cappotti, le suole delle scarpe si proteggevano con appositi «ferretti» e quando poi erano troppo consunte si sostituivano «risuolando» le scarpe. Quello che si rom-

peva si riparava per farlo durare il più a lungo possibile. E in casa c'era l'abitudine di non buttare mai via nulla.

Più di recente le cose, almeno in Italia e in Europa, sono cambiate totalmente. E allora siamo stati travolti dalla disponibilità di cibo, di oggetti e manufatti di ogni sorta, e di energia per riscaldarci, illuminarci, viaggiare a dritta e a manca, e per i tanti altri impieghi che sappiamo. Tanto che oggi ci sembra normale considerare tutto quello che usiamo e consumiamo come se provenisse da *risorse infinite*. Da cui cioè si può attingere senza limiti. Come l'acqua del rubinetto, che basta aprirlo e ne viene quanta se ne vuole, calda o fredda a piacere. Come l'elettricità, che preleviamo senza particolare attenzione dalle prese di corrente[1]. O come i prodotti alimentari, che arrivano da ogni dove, affollando gli scaffali dei supermercati e non aspettando altro che andare a riempire il nostro carrello. Ma anche come lo stesso denaro, che ci dispensano, in modo solo apparentemente indolore, i bancomat e le carte di credito (al massiccio e incauto impiego delle quali in Usa risale una delle cause della crisi finanziaria del 2008).

Il mito delle «risorse infinite» è particolarmente diffuso fra le generazioni più giovani che sono state educate a non porre attenzione ai consumi, come se fossero destinate a vivere nel Paese di Bengodi, e che del resto, per motivi anagrafici, non hanno alcun ricordo diretto di epoche passate più «risparmiose». Che non sono abituate, in particolare, a rispettare il cibo: quello che avanza va a ingombrare la pattumiera, anche perché al nutrimento di eventuali animali domestici provvedono le apposite scansie dei supermercati o i numerosi negozi a ciò dedicati.

Il mito delle «risorse infinite», oggi dominante, ben si collega a un altro mito, cioè quello secondo cui ogni generazione è

[1] Capita a volte, in effetti, che l'impianto di casa interrompa l'erogazione della corrente, segnalandoci così che abbiamo superato un determinato limite per la potenza assorbita. Anche in questo caso il problema è presto risolto: basta modificare il contratto con la società elettrica per farsi assegnare più potenza. Chi riflette, però, sul fatto che il sistema elettrico nazionale, per assicurare questa maggior potenza a noi (come ad altri), dovrà assicurare il funzionamento di nuove centrali?

destinata a disporre di beni in misura sempre maggiore della precedente. Entrambi i miti sono basati su dati reali. Che tuttavia rappresentano l'esperienza soltanto delle ultimissime generazioni, mentre i dati più recenti appaiono addirittura in controtendenza, mostrando che il cosiddetto «ascensore sociale» si è alquanto indebolito, se non proprio inceppato.

Ma tutto questo cibo, tutti questi oggetti, tutta questa energia che consumiamo, non ci arrivano gratis. E per di più, in varia misura a seconda dei casi, tutto ciò è inevitabilmente accompagnato da qualche forma di degrado dell'ambiente o quanto meno dal ricorso a risorse naturali destinate all'esaurimento. Come nel caso del petrolio[2], che abbiamo trovato in abbondanza nel sottosuolo, a differenza di quanto avverrà invece per i nostri discendenti. Senza dimenticare che il petrolio contiene sostanze preziose per la fabbricazione delle materie plastiche, e quindi è piuttosto insensato bruciarlo. Più in generale, dovrebbe essere chiaro, come si ripete ormai da qualche decennio, che il nostro pianeta è finito e dunque le risorse sono inevitabilmente limitate. E quindi il mito delle «risorse infinite» è privo di qualsiasi fondamento.

I semplici argomenti di fisica pratica proposti nel seguito mostrano in realtà che nella maggior parte dei casi per vivere più che confortevolmente ne «basta la metà» o ancora meno. La metà di che? Di tutto, o quasi tutto, quello che consumiamo. E se davvero consumassimo tutti la metà di tutto, sarebbe un bel rifiato per l'ambiente, per le risorse del pianeta a noi affidato, per la bolletta energetica nazionale (63 miliardi di euro nel 2011) e per la bilancia commerciale dell'Italia. Oltre che per il nostro portafoglio, cosa che non guasta davvero.

Inevitabile sobbalzo, a questo punto, del lettore cultore di scienze economiche, con l'immediata obiezione: «Ma così facendo si avrebbe un crollo del PIL!». Ebbene, così procedendo, il prodotto interno lordo subirebbe certamente un calo[3]. Ma è

[2] Considerando i tempi geologici che sono stati necessari per accumulare le riserve di petrolio a cui stiamo attingendo, si valuta che le stiamo consumando a un ritmo all'incirca centomila volte superiore.

[3] A prescindere dagli eventuali effetti delle ricorrenti crisi economiche.

noto ormai da tempo che questo indicatore non è più considerato particolarmente espressivo del grado di ben-essere di una nazione, in quanto ne rappresenta piuttosto il ben-avere, che appunto è cosa alquanto diversa dal benessere. In effetti il PIL ignora totalmente tutti gli aspetti dell'esistenza umana che non danno luogo a spostamenti di denaro, come il lavoro casalingo o il volontariato, trascurando così elementi essenziali per la coesione sociale e la qualità della vita (che se fossero contabilizzati in termini di lavoro remunerato equivalente sposterebbero di decine di punti percentuali il valore di questo indicatore). E ignora anche il capitale naturale che viene perso nei processi di crescita economica (l'abbattimento di una foresta, per fare un esempio). Ad esso, invece, contribuiscono positivamente fatti decisamente indesiderati come gli incidenti stradali oppure l'inquinamento dell'aria, in quanto conducono a un aumento della spesa sanitaria. E contribuisce anche il gioco d'azzardo, la cui spesa si aggira in Italia attorno a 70 miliardi l'anno. Si ricorda poi il «paradosso della cuoca», per cui il PIL diminuisce quando la cuoca sposa il suo padrone e conseguentemente non riceve più una retribuzione contabilizzata ufficialmente da parte dello stato (il curioso fenomeno, d'altra parte, non si verifica se la cuoca lavorava in nero).

La felicità fra le montagne dell'Himalaya

Quarant'anni fa il re del Bhutan, piccolo Stato buddista racchiuso fra le montagne dell'Himalaya, si propose di indirizzare la politica del Paese al raggiungimento della felicità per i suoi sudditi invece che alla crescita del PIL. Con risultati eccellenti, tanto che su proposta del nipote, l'attuale re Jigme Khesar Namgyel Wangchuck, una sessione ufficiale delle Nazioni Unite è stata dedicata al loro esame. Alla presenza di capi di Stato e di economisti impegnati a esaminare i criteri di calcolo dell'indice del benessere utilizzato in Bhutan, denominato GNH (*Gross National Happiness* – Felicità Nazionale Lorda).

Ogni epoca, del resto, ha visto indicatori diversi: prima, in un passato fortunatamente lontano, la potenza delle armate, cioè la numerosità dei militari e l'entità degli armamenti; poi la produzione di carbone, di acciaio o di cemento; da qualche tempo il PIL, che è considerato essenziale per rappresentare lo stato di salute delle economie dei Paesi (e che trova largo impiego nelle dispute politiche per valutare l'efficacia delle azioni di governo). Ma oggi si tende a dare maggior peso ad altri indicatori, come il cosiddetto Indice di sviluppo umano (ISU) o *Human development index* (HDI)[4], che rappresentano assai più efficacemente del PIL la qualità della vita. A questo indice, accanto al reddito medio della popolazione, concorrono la sua aspettativa di vita, e perciò la qualità del sistema sanitario, e il suo grado di alfabetizzazione, che rappresenta a sua volta la qualità del sistema di istruzione.

E quindi si tratta di un indice assai appropriato per la società postindustriale in cui viviamo, la società dell'informazione e della conoscenza, nella quale le idee, anche in termini economici, hanno più peso delle cose. Come ha scritto George Bernard Shaw: «Se tu hai una mela, e io ho una mela, e ce le scambiamo, allora tu ed io abbiamo sempre una mela per uno. Ma se tu hai un'idea, ed io ho un'idea, e ce le scambiamo, allora abbiamo entrambi due idee», e così cresce il patrimonio comune di idee. Sono numerosi, del resto, i casi nei quali esistono forti discrepanze tra come si posizionano le diverse nazioni in ordine di PIL pro capite e in ordine di ISU. Il che vuol dire che Paesi meno ricchi di altri possono avere maggior qualità nello sviluppo umano, e quindi maggior benessere.

Ma perché mai, tornando al nostro discorso, si dovrebbe mirare a consumare solo la metà? Fondamentalmente, come già accennato, per motivi etici; detto in breve: per fare un po' di spazio anche agli altri. A quelli che già ci sono, soprattutto nei Paesi lontani da noi, i quali hanno certamente diritto a una vita meno grama dell'attuale, e si tratta di svariati miliardi di persone. E pure a quelli che verranno, molti altri miliardi, nel prossimo futuro, ai quali andrebbe lasciato un pianeta non troppo

[4] Si vedano le seguenti pagine: http://hdr.undp.org/en/; http://it.wikipedia.org/wiki/Indice_di_sviluppo_ umano

depredato nelle sue risorse. Ma anche per motivi estetici: qualunque cosa si faccia, è certamente più elegante farla al meglio; come appunto è pienamente possibile, seguendo assieme il buon senso e i suggerimenti della scienza. Argomento, quest'ultimo, largamente inesplorato ai più, ma che si cercherà nel seguito di trattare dosandolo con doverosa cautela.

Alla base della sobrietà c'è la temperanza, che rientra fra le quattro virtù individuate dal filosofo greco Platone (*La Repubblica)*, che sono state assunte poi come virtù cardinali dalla religione cristiana. La temperanza, come si legge nel Catechismo della Chiesa cattolica (art. 7, 1809), «rende capaci di equilibrio nell'uso dei beni creati. Essa [...] mantiene i desideri entro i limiti dell'onestà». Limiti evidentemente non ben definiti in termini generali; a livello individuale dettati dalla coscienza di ciascuno, la quale presenta, come ben sappiamo, larghi margini di elasticità.

E del resto ci sarebbero poche speranze per il futuro dell'uomo e del pianeta se fosse vero quello che scrisse Thomas Hobbes quattro secoli fa e che sembra ispirare certi comportamenti d'oggi: «La felicità della vita non consiste nel riposo di una mente soddisfatta, perché non c'è un "fine ultimo" o un "bene sommo", come sostenevano i filosofi morali dell'antichità. [...] La felicità è un progresso continuo del desiderio da un oggetto a un altro, il raggiungimento dell'uno non essendo altro che la via verso il successivo»[5]. Progresso continuo che in realtà consiste nel mantenere le persone in uno stato di perenne insoddisfazione, sempre in attesa di qualcos'altro di più.

Il necessario e il superfluo

Il breve cenno, fatto all'inizio, a necessario e superfluo richiede qualche chiarimento. Cosa sia effettivamente necessario e cosa invece sia superfluo dipende infatti dal dove e dal quando. E per di più dipende largamente da fattori soggettivi, cioè anche dal chi. Presso i popoli che vivevano di caccia e di raccolta, e ve ne sono

[5] T. HOBBES, *Leviatano*, Bompiani, Milano 2009, capitolo 11.

La maggior parte dei nostri consumi sono così convenienti perché molti lavoratori che producono ciò che consumiamo sono sottopagati.

A. Segrè, ***Basta il giusto (quanto e quando)***

tuttora, il necessario – disporre di un qualche riparo per la notte, avere accesso a un corso d'acqua, catturare un animale, trovare dei vegetali commestibili – era certamente assai diverso da quanto si richiede oggi da noi, che elencare sarebbe davvero troppo lungo. E comunque una tendenza naturale è quella di considerare necessario ciò di cui dispongono gli altri, soprattutto quelli in qualche modo più prossimi o comunque più visibili. Questo è un fatto reale, con conseguenze importanti, come mostrano gli studi che hanno individuato un evidente nesso inverso, nei diversi Paesi del mondo, fra l'entità delle disuguaglianze sociali e gli elementi di benessere complessivo che concorrono agli indici di sviluppo umano[6].

Quanto al superfluo, beh, è qualcosa di ancor più soggettivo, anche perché un'altra tendenza naturale è quella di considerare necessario anche ciò che è sicuramente superfluo. A questo, come sappiamo, contribuisce pesantemente l'esposizione alla pubblicità, in particolare a quella televisiva, che è particolarmente penetrante e convincente, soprattutto nei confronti dei più sprovveduti. Quale utilità reale per la generalità del pubblico, per esempio, può presentare un oggetto quale il «distruggidocumenti automatico» reclamizzato fortemente in Tv qualche tempo addietro? La sua caratteristica principale, oltre a quella di adattarsi agevolmente a cestini di varia misura, era il costo molto basso. Ma quanti telespettatori si saranno resi conto che un buon paio di forbici permette sicuramente di fare a meno del grazioso gadget?

[6] Gli epidemiologi inglesi R. WILKINSON, K. PICKETT (*La misura dell'anima. Perché le disuguaglianze rendono le società più infelici*, Feltrinelli, Milano 2009) hanno studiato in particolare le relazioni fra l'indice di disuguaglianza rappresentato dal rapporto fra i redditi del 20% più ricco e del 20% più povero della popolazione, e indici sociali quali la mortalità alla nascita, la durata media della vita, il tasso di omicidi, la coesione sociale, ecc.

Quando il superfluo è anche insensato

Può capitare che oggetti al tempo stesso superflui e insensati divengano oggetto del nostro desiderio. Come nel caso del braccialetto Power Balance, reclamizzato sul Web tempo fa. Secondo i suoi promotori:

Il Power Balance è un sistema energetico, un amplificatore naturale di energia che, entrando in risonanza con i sistemi elettronici, chimici e biologici del nostro corpo ne aumenta l'efficienza istantaneamente. In altre parole è uno strumento che aumenta la forza del nostro campo biologico proteggendolo così da elettromagnetismi distruttivi esterni… [per] ottenere più equilibrio, flessibilità oppure rinvigorire forza e resistenza.

Ma in questa prosa pseudoscientifica infarcita di termini altisonanti nulla è chiaro: né come si possa amplificare l'energia (quale?), né cosa sia il nostro campo biologico e neppure il resto. Rimane misterioso anche il principio di funzionamento del braccialetto. Peraltro qualificato come «naturale», evidentemente per solleticare coloro che aborrono «l'artificiale» e al contempo disponessero dei 39 euro necessari per l'acquisto. La vicenda si è conclusa con un intervento dell'Antitrust, un'indagine svolta dall'Istituto Superiore di Sanità che ha escluso ogni evidenza scientifica delle qualità promesse, e infine con una multa di 350mila euro inflitta alle società che avevano commercializzato il braccialetto in Italia.

Ma non basta. Perché, come ci informa l'etologo Danilo Mainardi sul «Corriere della Sera», 2 ottobre 2011, si conta di estendere la pubblicità televisiva anche agli animali domestici. Reclamizzando: «[...] un alimento per cani usando uno spot televisivo che trascura i padroni ed è indirizzato direttamente ai cani con tanto di guaiti e di ultrasuoni che solo essi, appunto, dovrebbero poter capire. Ammesso che funzioni, naturalmente». E qui, mentre non ci sono dubbi sui guaiti, qualche dubbio c'è sulla possibilità di ricevere ultrasuoni tramite il canale audio della Tv e poi di riprodurli con gli altoparlanti del televisore. Che sono progettati per funzionare alle frequenze udibili ma non a quelle più alte, dove si situano appunto gli ultrasuoni a cui è sensibile l'orecchio dei cani.

Rientrano poi nel palesemente superfluo, oltre che nel diseducativo, le recenti iniziative rivolte a fornire cure estetiche, oltre che alle madri, anche alle bambine fra 2 e 12 anni.

L'estetica scientifica della sobrietà: il risparmio energetico

Il paradigma essenziale al quale ci atterremo in quanto segue è quello del risparmio energetico.

Alla base di questo concetto vi è il riconoscimento che l'energia non è fine a se stessa, ma soltanto un mezzo per ottenere determinati beni, come costruire una casa, un'automobile o un telefonino, oppure per disporre di servizi, come riscaldare un'abitazione, compiere un viaggio o cuocere il minestrone. E che questi beni e servizi richiedono quantità di energia diverse, anche di parecchio, a seconda dei procedimenti che si impiegano per ottenerli. Seguire il criterio del risparmio energetico significa allora scegliere le soluzioni tecnologiche che conducono a ridurre i consumi di energia a parità di risultato finale, cioè senza dover rinunciare a nulla.

E allora il risparmio energetico può essere considerato come una sorta di invisibile, ma reale ed efficacissima, fonte energetica alternativa addizionale. Sappiamo inoltre che sfruttare al meglio l'energia disponibile, contenendone quindi i consumi, contribuisce assai efficacemente non soltanto a preservare l'ambiente del nostro pianeta, ma anche a ridurre i rischi di incidenti e quindi a risparmiare vite umane. Perché la produzione dell'energia, come del resto la produzione di qualsiasi altra cosa, comporta inevitabilmente dei rischi (nessuna attività umana può presentare rischio zero), che dovrebbero essere all'attenzione del consumatore, motivandolo al risparmio anche dal punto di vista etico.

I rischi maggiori provengono dal carbone e dal petrolio soprattutto, ma non solo, a causa dell'inquinamento atmosferico (polveri sottili, gas nocivi, ecc.) prodotto dal loro impiego; che secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ogni anno causa nel mondo oltre un milione di morti. Ma tutte le fonti di energia – nelle loro diverse fasi di produzione, trasporto, impiego e via

Energia geotermica e terremoti

Anche lo sfruttamento intensivo dell'energia geotermica, cioè del calore terrestre, quando attuato attraverso la fratturazione di rocce a grandissime profondità, si è rivelato pericoloso. Addirittura provocando terremoti, come è avvenuto in vari luoghi, dalla Svizzera agli Stati Uniti. I terremoti verificatisi a Basilea dopo l'avvio del programma geotermico, sebbene di modesta entità (poco più di 3 gradi Richter), hanno condotto a chiudere il programma nel timore che si ripetesse il catastrofico sisma che nel 1356 provocò danni gravissimi alla città.

dicendo – comportano dei rischi, che sono stati valutati in termini quantitativi. Mostrando in particolare che se il carbone e il petrolio sono le fonti che provocano il maggior numero di vittime, anche lo sfruttamento dell'energia idraulica ha condotto a incidenti mortali assai gravi. In Italia ricordiamo le 1917 vittime del disastro del Vajont (1963), ma disastri anche più gravi sono avvenuti altrove, per esempio nel 1975, quando i cedimenti a catena di una serie di dighe a Banqiao (Cina) provocarono 171mila morti.

Anche altre fonti di energia considerate «verdi» presentano gravi inconvenienti. Questo è il caso dei biocombustibili, cioè dei combustibili di origine vegetale, e in particolare del biodiesel. Perché per ottenere carburanti biodiesel in quantità apprezzabili si deve spostare la destinazione di vaste zone dalla produzione di prodotti alimentari a quella appunto di biocombustibili. Sicché negli ultimi anni, come risulta dai rapporti dell'Organizzazione Mondiale per il Commercio (OMC), si sono verificate impennate dei prezzi delle derrate agricole per l'alimentazione, in particolare grano e mais, creando conseguentemente pesanti problemi nei Paesi più poveri. E qui ricordiamo la «rivolta delle *tortillas*» verificatasi in Messico nel 2007. Su scala globale oggi circa l'8% del mais viene impiegato per produrre biocombustibili, con una percentuale ancora più elevata negli Stati Uniti dove questa destinazione nel 2010 ha raggiunto il 35% della produzione, ed è in ulteriore crescita.

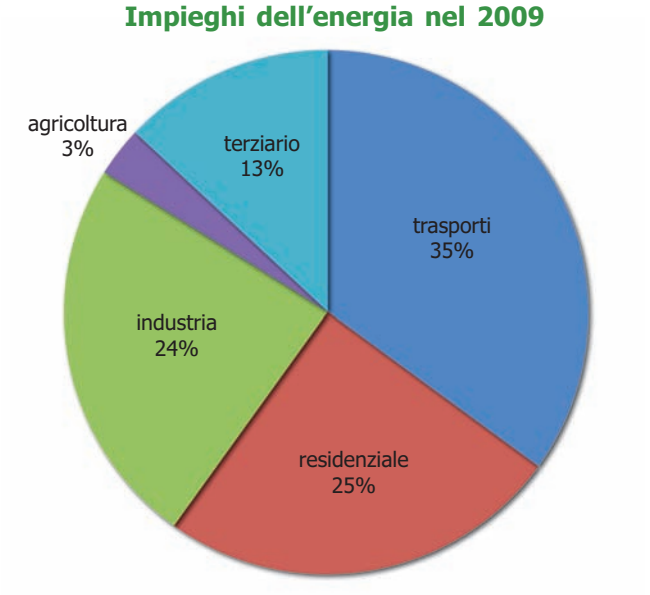
Facciamo qualche esempio

Un esempio immediato di risparmio energetico? Sostituire le tradizionali lampadine a incandescenza con altre più efficienti, cioè che consumano meno energia a parità di illuminazione. Oggi quelle fluorescenti compatte, fra breve quelle a stato solido, cioè i LED, i diodi emettitori di luce che trasformano direttamente l'energia elettrica in energia luminosa.

In generale, per discutere quantitativamente il problema del risparmio energetico si considera il *rendimento* di ciascun diverso processo che conduce a un dato risultato, che è definito come rapporto fra l'energia minima necessaria per arrivare allo scopo e l'energia effettivamente spesa nel processo in esame.

Consideriamo, per fissare le idee, un impianto di riscaldamento usato per mantenere l'interno di un'abitazione a una temperatura gradevole durante il freddo invernale. Qual è il rendimento dell'impianto? Possiamo valutarlo considerando il rapporto fra l'energia termica (cioè il calore) fornita all'abitazione e l'energia chimica del combustibile (cioè la sua capacità, bruciando, di produrre calore). In tal caso il rendimento risulta tipicamente attorno all'80%, dato che per varie ragioni resta inutilizzato il 20% circa dell'energia del combustibile: combustione imperfetta, perdite di calore del bruciatore, riscaldamento dei fumi che vengono dispersi nell'aria. Il rendimento risulta poi assai più basso considerando l'impiego di stufe elettriche. In tal caso, infatti, è vero che l'energia elettrica che utilizziamo viene convertita totalmente per **effetto Joule** in energia termica, la quale viene poi tutta ceduta all'ambiente circostante; però solo una frazione, mediamente il 40%, dell'energia del combustibile utilizzato in una centrale termoelettrica viene convertito in elettricità. E allora è chiaro che le stufe elettriche vanno usate con grande parsimonia (almeno da noi, non necessariamente così nei Paesi come la Francia, dove la maggior parte dell'elettricità è prodotta da centrali nucleari e quindi, oltre a costare meno al consumatore, circa la metà di quanto costa a noi, non richiede di bruciare combustibili fossili nelle centrali elettriche).

È un fatto, comunque, che l'energia utilizzata nelle abitazioni rappresenta circa un quarto di tutto il fabbisogno energetico na-



zionale. Secondo gli esperti, l'impiego dei criteri del risparmio energetico potrebbe condurre a ridurre di circa il 30% la quantità di questa energia. E in effetti si può fare parecchio in tal senso: sia da subito e senza spesa apprezzabile, come vedremo meglio più avanti, sia in seguito, con qualche spesa, in occasione del rinnovo di elettrodomestici o prendendo altre iniziative, più impegnative, come migliorare l'isolamento termico della casa.

Una buona scelta, per esempio, consiste nel sostituire la caldaia dell'impianto di riscaldamento con una del tipo a condensazione, che ha un rendimento maggiore del 10% rispetto a quelle tradizionali. Questo perché nelle caldaie a condensazione si recupera il calore dei fumi prodotti dalla combustione, in particolare facendo condensare il vapor d'acqua in essi contenuto, per preriscaldare l'acqua prima di immetterla nella caldaia.

Una soluzione decisamente più impegnativa, ma certamente molto efficace, riguarda l'impiego di un sistema di **microcogenerazione**. Dal quale si ottiene sia elettricità, da utilizzare diretta-

mente o da immettere nella rete elettrica ricevendone un compenso, sia calore, e quindi acqua calda per il riscaldamento e gli usi sanitari. In questi impianti il calore prodotto bruciando un combustibile (gas o carburante liquido) alimenta un **motore termico**, tipicamente un motore d'automobile, che produce elettricità tramite un alternatore. Qui però, a differenza di quanto avviene usualmente, l'inevitabile calore residuo del motore non viene disperso. Questo calore viene infatti recuperato e utilizzato per produrre acqua calda, sfruttando dunque al meglio tutta l'energia del combustibile, sicché il rendimento complessivo non è lontano dal 100%. Un impianto siffatto, tipicamente, è in grado di fornire elettricità e riscaldamento a un condominio. E qui vale la pena di ricordare che una delle prime realizzazioni di questo tipo risale agli anni '70, al tempo della grande crisi energetica mondiale, quando la Fiat realizzò un apparato di microcogenerazione, chiamato TOTEM (*Total Energy Module*), usando il motore della 127.

Ma è davvero necessario, per riscaldare un ambiente, «creare calore» bruciando un combustibile o utilizzando l'elettricità? In realtà ci si può procurare il calore che ci occorre prelevandolo dall'esterno, più freddo, per «pomparlo» all'interno. È chiaro che questo processo non può avvenire spontaneamente, perché il calore, come è ben noto, suole spostarsi dai corpi caldi verso quelli più freddi e non viceversa. E quindi per attuarlo occorre spendere dell'energia, ma in quantità decisamente minore di quanta ne occorre per «creare calore» da zero con i mezzi usuali: tanto minore quanto maggiore è la temperatura della sorgente da cui si preleva il calore (più precisamente, quanto minore è il salto di temperatura in salita che il calore deve compiere). Del resto è proprio grazie a un processo di questo tipo che funzionano i frigoriferi. Per il riscaldamento delle abitazioni questo processo trova applicazione nelle macchine chiamate *pompe di calore*, che sono impiegate da tempo nei Paesi più freddi, ma che ora si stanno diffondendo anche in Italia.

Dove si prende il «calore freddo» per pomparlo all'interno dopo averlo riscaldato? Lo si può prelevare dall'aria, dall'acqua o dal terreno. In vari luoghi, per esempio, vi sono stagni o falde

acquifere che vengono utilizzate a questo scopo. Le cosiddette pompe geotermiche, invece, prelevano il calore dal sottosuolo, sfruttando il fatto che la temperatura del terreno, man mano che si va in profondità, risente sempre meno delle variazioni giornaliere e stagionali. E in effetti già a pochi metri di profondità la temperatura del terreno o delle eventuali acque sotterranee è praticamente costante tutto l'anno, sicché, rispetto a quella in superficie, risulta calda d'inverno e fresca d'estate.

Il pregio di questi impianti è che funzionano come «moltiplicatori di energia» nel senso che l'energia del calore prodotto è alquanto maggiore di quella spesa per il loro funzionamento. Una buona misura della loro efficienza è data dal rapporto fra il calore fornito all'interno di un'abitazione e l'energia elettrica consumata per ottenerlo: il cosiddetto COP, o coefficiente di prestazione, con valori tipici fra 3 e 5, che indicano come l'entità del risparmio di energia, rispetto all'impiego di una stufa elettrica, sia veramente notevole. Si tratta di impianti che sono certamente più costosi di una caldaia convenzionale, tipicamente due o tre volte, ma che a lungo termine assicurano un notevole vantaggio economico.

Anidride carbonica, effetto serra e protocollo di Kyoto

A differenza di quanto si fa usualmente, non tedieremo il lettore menzionando puntualmente la diminuzione delle emissioni di anidride carbonica (CO_2) conseguenti a ogni singola azione di risparmio energetico. Lasciamo così al Lettore stesso il diletto di svolgere questi calcoli, tenendo presente che non bruciare un chilogrammo di carbone evita di immettere nell'atmosfera 3,8 kg di anidride carbonica; non bruciarne uno di petrolio ne risparmia 3,1 e uno di gas naturale 2,3. Quanto all'elettricità, risparmiare un chilowattora significa evitare circa 0,5 kg di anidride carbonica. Chi poi volesse farsi un'idea delle proprie emissioni più in dettaglio può accedere all'apposito sito del WWF: http://www.improntawwf.it/main.php

Ma perché si parla tanto di questo gas? Il fatto è che, secondo l'opinione prevalente oggi fra gli scienziati, esso contribuisce all'aumento della temperatura della Terra registrato negli ultimi decenni (corrispondente a circa 0,7 °C nel secolo passato), a causa del cosiddetto effetto serra. Avviene infatti che determinati gas presenti nell'atmosfera – *in primis* il vapor d'acqua, poi l'anidride carbonica, il metano e altri ancora – hanno la proprietà di assorbire le radiazioni infrarosse lasciandosi invece attraversare dalla luce visibile, comportandosi dunque in modo simile ai vetri di una serra. Così la radiazione solare può raggiungere (meno male!) la superficie terrestre mentre una frazione della radiazione (infrarossa), che la Terra emette in ragione della temperatura a cui essa si trova, viene bloccata dall'atmosfera e perciò non esce da questo involucro verso lo spazio esterno. Con un effetto complessivo di riscaldamento che ammonta a una trentina di gradi, e non è poco. Così la temperatura media della Terra, circa 15 °C, è alquanto maggiore dei –18 °C che avremmo in assenza dell'effetto serra. Con il nostro pianeta ridotto a un mondo di ghiacci perenni, assolutamente inadatto alla vita, vegetale, animale e nostra.

Se questo è un fatto decisamente fortunato per noi tutti, assai meno gradevole è l'aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera che si è avuto nel corso dell'ultimo secolo, da circa 300 a 390 parti per milione in volume: quantità piccolissime ma assai significative. Questo aumento viene attribuito almeno in parte alle emissioni prodotte dall'uomo bru-

Deforestazione e riforestazione

Alla deforestazione in atto nelle regioni tropicali contribuisce anche la domanda di legni pregiati da parte dei Paesi industrializzati. In Europa, invece, contrariamente a quanto si ritiene comunemente, i boschi sono in crescita. In Italia negli ultimi vent'anni la superficie forestale è aumentata di oltre il 20% arrivando a coprire, con 12 miliardi di alberi, oltre un terzo del territorio.

ciando grandi quantità di combustibili fossili, come pure alla deforestazione in atto in molti Paesi (non da noi), e ad esso si attribuisce l'intensificazione dell'effetto serra e quindi l'aumento della temperatura terrestre. Per evitare le conseguenze di ulteriori riscaldamenti, che secondo gli scenari più pessimistici potrebbero ammontare a 5 °C alla fine di questo secolo, i governi si sono accordati per ridurre le emissioni di anidride carbonica attraverso il cosiddetto protocollo di Kyoto.

Stabilito nel 1997 nell'ambito dell'ONU, questo protocollo sancisce che ciascuna nazione deve ridurre entro il 2012 le proprie emissioni al 95% di quelle prodotte nel 1990: una riduzione assai cospicua a fronte degli aumenti di emissioni verificatisi nel frattempo. Questo compito, in effetti, è stato assegnato alle nazioni industrializzate, esentandone quelle emergenti per un principio di equità e anche a fronte della minor rilevanza (all'epoca) delle loro emissioni.

Ma i risultati del protocollo di Kyoto sono stati al tempo stesso deludenti e devastanti[7]. Deludenti perché le emissioni mondiali di anidride carbonica, nonostante la diminuzione di quelle prodotte dai Paesi industrializzati, anziché diminuire sono aumentate, a causa della forte crescita del contributo dei Paesi emergenti: alla sola Cina si deve oggi oltre un quarto del totale delle emissioni. Devastanti perché i Paesi industrializzati, per restare sul mercato, sono stati costretti a spostare buona parte della loro produzione industriale nei Paesi non soggetti alle regole di Kyoto, con effetti deleteri di disoccupazione da noi. Ma non solo questo. Infatti, nei Paesi emergenti, ormai parecchio emersi, nel contempo venivano prodotte grandi quantità di energia elettrica utilizzando centrali alimentate a carbone, consentendo così la fabbricazione a basso costo di una gran varietà e quantità di prodotti che venivano poi esportati nei Paesi industrializzati. Fra questi, anche i pannelli fotovoltaici a cui i Paesi industrializzati, in particolare l'Italia, hanno fatto largo ricorso allo scopo di ottemperare al protocollo di Kyoto producendo elettricità senza emissioni di anidride carbonica. Più precisamente, senza emissioni nell'impiego dei pannelli (da noi), ma con forti emissioni durante la loro fabbricazione (in Cina). E oggi

[7] S. CASERTANO, *La guerra del clima*, Francesco Brioschi Editore, Milano 2011.

proprio la Cina, che fra l'altro produce il 50% dei pannelli fotovoltaici su scala globale, detiene attualmente parti consistenti del debito pubblico dei Paesi industrializzati, dove invece la riduzione dell'occupazione e la crescita delle importazioni contribuiscono certamente alla crisi finanziaria in atto in questi anni.

Quanto all'anidride carbonica (con formula chimica CO_2), la troviamo spesso menzionata nei media come inquinante e nociva. Eppure questo gas inodore e incolore non è in alcun modo velenoso. Non si deve forse alle sue bollicine il fascino spumeggiante dello spumante che rallegra le occasioni più felici? O la sensazione rinfrescante che ci procurano aranciate e altre bevande piacevolmente arricchite di questo gas? E una birra senza schiuma sarebbe ancora una birra?

Venendo ad argomentazioni più serie, non possiamo certamente dimenticare lo straordinario miracolo della fotosintesi, grazie al quale l'anidride carbonica presente nell'aria viene trasformata in sostanze nutrienti nelle piante verdi. Non possiamo dimenticarlo per la semplice ragione che proprio questo processo, e non altri, è alla base delle catene alimentari che sostengono la vita, vegetale e animale. Se s'interrompesse, gli scaffali dei supermercati resterebbero vuoti, più esattamente non avremmo nulla di cui nutrirci. Perché una dieta puramente minerale è altamente sconsigliata.

Chi poi volesse contribuire personalmente a ridurre le emissioni di anidride carbonica potrebbe decidere di smettere di respirare, evitando così di immettere nell'atmosfera circa 0,9 kg al giorno di questo gas (16 respirazioni al minuto, ciascuna con emissione di circa 0,04 grammi di CO_2, e quindi (0,04 grammi) × 16 × 60 × 24 = 0,93 kg). Ma questa perigliosa impresa in realtà non gioverebbe a nulla, dato che il carbonio che emettiamo è quello contenuto nel cibo, il quale proviene, in ultima analisi, dalle piante che qualche tempo prima lo hanno catturato dall'atmosfera attraverso la fotosintesi che abbiamo appena ricordato.

Più efficace, per contrastare il riscaldamento globale, è l'idea di verniciare di bianco, o con colori chiari, i tetti delle abitazioni e le strade delle città, sostenuta da Steven Chu, premio Nobel per la Fisica nel 1997 e attualmente ministro dell'Energia nel-

l'amministrazione Obama. Idea apparentemente bizzarra, che però da qualche anno è stata tradotta in una norma di legge dello Stato della California. Perché mai funziona? Perché un tipico tetto scuro assorbe l'80% della radiazione solare che lo colpisce, mentre ne assorbe solo il 20-40%, diffondendo indietro il restante, se verniciato di bianco o di un colore chiaro. Così facendo si riduce il riscaldamento estivo dell'edificio e quindi l'energia necessaria per il condizionamento, ma al tempo stesso si contribuisce a ridurre il riscaldamento complessivo del pianeta (nel rapporto fra la superficie del tetto e la superficie terrestre). Che l'idea del premio Nobel Chu funzioni, del resto, è testimoniato dal suo impiego, praticamente da sempre, negli edifici dei Paesi mediterranei più assolati.

2. Il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici

Si dice spesso che le stagioni non sono più quelle di una volta. E che queste anomalie sono dovute all'opera sconsiderata dell'uomo. È verissimo. Lo dimostra il fatto che in molte case, uffici e centri commerciali veniamo sottoposti a temperature estive nei mesi invernali e a temperature invernali in quelli estivi. E quindi siamo costretti ad abbigliamenti assolutamente incongrui: camiciole a maniche corte d'inverno e maglioni d'estate.

Tutto deriva dalle scelte degli impiantisti e dei gestori degli impianti. I progettisti, per accrescere gli utili delle imprese costruttrici, sovradimensionano deliberatamente gli impianti, come se l'Italia si trovasse al Polo Nord per quanto riguarda le esigenze di riscaldamento e al centro del Sahara per quelle di raffrescamento. I gestori degli impianti, a loro volta, ritengono di venire incontro ai desideri delle persone, sparando negli ambienti caldo a profusione d'inverno e freddo siberiano d'estate.

Ci sono, in effetti, delle norme sulle temperature degli ambienti, che stabiliscono limiti da non superarsi. Ma è almeno dai tempi di Dante che «le leggi son, ma chi pon mano ad esse?». Per esempio una legge (n. 376 del 1976) che risale a quasi quaranta anni fa, al tempo della grande crisi energetica degli anni '70, fissava a 20 °C la temperatura massima degli interni. Quante volte l'abbiamo vista violata? Magari anche da parte di noi stessi?

Garantire temperature gradevoli è certamente opportuno, ma senza «esaggerare» (e qui le due «g» sono d'obbligo) al punto da renderle invece addirittura sgradevoli. Non dimentichiamo però che il grado di benessere percepito dipende molto dall'abbigliamento, che dovrebbe essere appropriato alla stagione, sia pure senza invocare i mutandoni di lana invernali suggeriti da Rigoni Stern[1]. E che forti sbalzi di temperatura fra gli interni e l'esterno non giovano affatto alla salute. Del resto in passato gli impianti di riscaldamento nell'Italia meridionale erano una eccezione, come lo erano poi in tutto il nostro Paese, fino a pochi anni fa, i condizionatori.

Gli sprechi maggiori riguardano spesso l'ultima parte del periodo di riscaldamento, quando le temperature ormai primaverili non riescono a indurre qualche alleggerimento nella gestione dell'impianto, per esempio riducendo la temperatura dell'acqua o accorciando i tempi di accensione.

Seguiamo le leggi fisiche se non vogliamo seguire quelle dello Stato

La scelta di far funzionare in modo insensato i sistemi di climatizzazione ha conseguenze veramente pesanti sui consumi di combustibili e di elettricità. C'è infatti una legge fisica, introdotta due secoli fa dal francese Joseph Fourier, che stabilisce come il flusso del calore attraverso una parete sia direttamente

Tabella 1. Temperature suggerite in casa (e in ufficio)

	in presenza di persone di giorno	in presenza di persone di notte	in assenza di persone
d'inverno	20 °C	18 °C	18 °C
d'estate	25 °C	25 °C	27 °C

[1] M. Rigoni Stern, *Stagioni*, Einaudi, Torino 2008.

proporzionale alla differenza di temperatura fra i suoi estremi; come del resto è piuttosto intuitivo. E allora, per fare un esempio, imporre una temperatura interna di 25 °C anziché di 20 °C quando d'inverno la temperatura media esterna è di 10 °C, comporta di accrescere del 50% la spesa, dato che il rapporto fra i flussi di calore nei due casi vale (25 – 10)/(20 – 10) = 1,5. A questo proposito una recente ricerca sui criteri per ridurre i consumi di energia suggerisce per le temperature interne le scelte riportate nella Tabella 1[2].

A qualcuno 20 °C in casa sembreranno pochi, ma in realtà questa è per l'appunto la temperatura esterna di una bella giornata di primavera! Che evidentemente non si affronta indossando indumenti estivi. E in realtà, vestiti adeguatamente, si vive benissimo anche a temperature relativamente basse. Come del resto avveniva comunemente in un passato non troppo lontano.

E poi 20 °C sono un limite di legge. Infatti le norme riguardanti il riscaldamento in vigore in Italia stabiliscono che le temperature degli ambienti di casa non devono superare questo valore con una tolleranza di 2 °C, cioè devono restare al di sotto di 22 °C. Altrimenti? Non succede nulla... È un fatto però che io mi trovo fuori legge dato che in questo momento (siamo a dicembre) misuro 22,6 °C nella stanza dove sto scrivendo, che è priva di radiatori, mentre i radiatori degli altri ambienti di casa sono tutti spenti! Evidentemente qui, grazie a Fourier, arriva parecchio calore dalle altre stanze della casa attraverso il pavimento e il soffitto. Ma allora a quali temperature tropicali si trovano questi coinquilini, per garantire flussi di calore così abbondanti?

La stessa legge di Fourier stabilisce anche un'altra cosa, cioè che il calore che sfugge è direttamente proporzionale alla conducibilità termica della parete, cioè alla propensione a lasciarsi attraversare dal calore da parte dei materiali che la costituiscono. Suggerendo così di realizzare un buon isolamento termico, cioè una efficace coibentazione. Ora è chiaro che il maggior contributo al passaggio del calore fra un ambiente di casa

[2] Studio svolto negli Usa da T. DIETZ *et al.*, «Proceedings of the National Academy of Science», 3 novembre 2009.

e l'esterno si deve ai vetri delle finestre. Quindi dovrebbe anche essere evidente l'opportunità di dotare le finestre di doppi vetri, cosa che comporta anche il vantaggio di un maggiore isolamento acustico, proteggendo i residenti dai rumori esterni. E gli spifferi? Anch'essi sottraggono calore, sicché vanno tenuti sotto stretto controllo. Ma non eliminati del tutto perché provvedono al necessario, possibilmente lento, ricambio dell'aria, ed evitano la formazione di condensa a causa dell'umidità.

Quanto al calore che si disperde attraverso le pareti, la cura, non sempre attuabile, è decisamente più impegnativa. Perché si deve ricorrere a un rivestimento esterno (chiamato «cappotto») che introduca un buon isolamento.

Il caso dei doppi vetri

Attraverso un metro quadrato di finestra di vetro comune passa una quantità di calore per unità di tempo corrispondente a circa 6 watt per grado di differenza fra temperatura interna ed esterna. E quindi se fa un freddo boia (per le nostre latitudini, non certo per la Svezia) con l'esterno a 0 °C e l'interno a 20 °C, attraverso 5m^2 di finestre sfuggono ben 6 × 20 × 5 = 600 watt (più tutto il resto, attraverso serramenti e pareti). Sicché soltanto per compensare il calore perduto attraverso le finestre occorre l'equivalente di una stufetta elettrica sempre accesa. La perdita si dimezza usando un doppio vetro, e si può ridurre ancora, a circa un sesto, ricorrendo a un doppio vetro di tipo speciale, a bassa conducibilità termica (o addirittura a un triplo vetro). A queste prestazioni contribuisce grandemente il gas contenuto fra i vetri, aria o altro, che è un ottimo isolante termico. La protezione dal freddo assicurata dagli indumenti di lana e dalle pellicce è infatti in larga misura affidata proprio all'aria imprigionata nelle strutture di questi materiali.

Ridurre il flusso di calore attraverso le finestre, naturalmente, è vantaggioso anche d'estate, anche se in tal caso è assai opportuno schermare la luce solare diretta abbassando le serrande. Mentre non servono chiaramente a nulla eventuali tende poste all'interno, dove il calore è ormai già penetrato.

Dentro al letto

Entrando nel letto, la sera, si percepisce una sgradevole sensazione di freddo quando la stanza, e il letto, si trovano a una temperatura un po' bassa. È naturale, allora, voler riscaldare la stanza, o meglio volerla mantenerla permanentemente più calda, in modo che anche il letto risulti più caldo. È più che naturale, ma è sbagliato. Perché non ha senso tener calda tutta la stanza quando quello che ci interessa è solo l'interno del letto; e neppure ha senso tenerla sempre calda, mentre quello che ci serve è che il letto sia caldo nel momento in cui ci entriamo dentro.

E qui entra in gioco la sapienza degli antichi, che d'inverno riposavano in ambienti gelidi, avendo però provveduto a riscaldare i letti con appositi scaldini: il cosiddetto «prete» consisteva di una struttura di legno al cui interno vi era un recipiente metallico contenente braci accese (causa di non pochi incidenti mortali per l'ossido di carbonio che poteva svilupparsi). Seguendo l'essenza di questo suggerimento, ma lasciando da parte gli scaldaletto come pure le termocoperte elettriche anch'esse causa di incidenti, la soluzione più semplice e naturale è quella di utilizzare una semplice borsa dell'acqua calda.

Confrontiamo questa soluzione con quella di mantenere permanentemente tiepida la stanza con una stufetta elettrica moderatamente accesa a 500 watt. Il costo energetico di ottenere due litri d'acqua quasi bollente a 90 °C riscaldando quella dell'acquedotto a 10 °C ammonta a $2 \times (90 - 10) = 160$ Calorie (ricordando che riscaldare un litro d'acqua di un grado richiede una Caloria). Il costo energetico della stufa da 500 watt ammonta invece a 500 watt × 24 ore = 12 kWh, cioè circa 40 milioni di joule a loro volta equivalenti a 10mila Calorie. E quindi è circa 60 volte maggiore rispetto alla borsa dell'acqua calda!

Una scelta più semplice ancora, che però proponiamo solo agli ecologisti più convinti, sarebbe quella di riscaldare il letto semplicemente entrandoci dentro (prima di affrontare la prova, però, potrebbe essere utile bere un buon grappino. Che oltretutto concilierebbe il sonno!). Come potrebbe funzionare? Grazie

al calore prodotto dal nostro metabolismo naturale, che in condizioni di riposo ammonta attorno a 60-100 watt (il valore esatto dipende dal peso corporeo, dall'altezza e dal sesso del dormiente). Questo modestissimo flusso di calore resterebbe sostanzialmente intrappolato fra le coperte, assai mediocri conduttori del calore, col risultato di riscaldarle gradualmente e piacevolmente, mantenendole poi tiepide fino al risveglio.

Il riscaldamento della casa: autonomo o centralizzato?

Sul riscaldamento delle abitazioni qualcosa si è già detto, sottolineando il vantaggio energetico di bruciare un combustibile, gasolio o metano, rispetto all'impiego dell'elettricità e discutendo anche altre soluzioni che offrono maggiori prospettive di risparmio di energia. Qui però si pone spesso il problema della scelta fra riscaldamento autonomo e centralizzato. La soluzione autonoma è decisamente più conveniente, perché consente di dosare il riscaldamento secondo le proprie esigenze e di pagare poi esattamente quanto si è consumato. Ma questa scelta risulta alquanto onerosa quando si tratta di modificare un impianto condominiale preesistente.

C'è però una soluzione intermedia, relativamente economica, che consiste nell'applicare ai radiatori i cosiddetti «contabilizzatori di calore» che valutano il calore che i caloriferi cedono all'ambiente. Con questa soluzione, come con quella autonoma, non si è più costretti, per poter respirare, a dover spalancare le finestre perché il condominio ha scelto di riscaldare l'edificio a tutto vapore in base alle particolarissime esigenze del freddoloso inquilino del quinto piano. A quest'ultimo, del resto, andrebbe suggerito l'acquisto di una stufetta che lo riscaldi adeguatamente, evitando così di sprecare combustibile per surriscaldare il suo prossimo. Inducendolo magari alla criminosa scelta di aprire le finestre per riuscire a sopravvivere.



La manopola termostatica graduata serve a stabilire la temperatura a cui si attiva il flusso dell'acqua calda. Il dispositivo montato sul calorifero è il contabilizzatore di calore, che provvede a misurare il calore fornito all'ambiente.

I termosifoni in gabbia? Un controsenso

C'è chi suole racchiudere i radiatori dei termosifoni in amene gabbiette lignee o all'interno di pudichi tendaggi, considerando evidentemente ineleganti, e quindi da sottrarre alla vista, questi apparecchi. La scelta non potrebbe essere più baggiana. Perché i radiatori trasferiscono calore all'ambiente solo attraverso i moti convettivi dell'aria. In altre parole, l'aria che lambisce la superficie del radiatore si riscalda, diventa più leggera e sale in alto, richiamando così dal basso aria fredda e creando quindi una circolazione che distribuisce il calore al meglio in tutta la stanza[3]. Ingabbiando il calorifero, invece, il calore ristagna non trovando vie d'uscita. Sicché questo si riscalda al massimo cuocendo vivacemente le pareti interne del suo contenitore, mentre l'ambiente attorno resta freddo perché il legno, come pure la stoffa, sono pessimi conduttori del calore.

[3] I radiatori ben fatti hanno forme opportunamente variegate per massimizzarne la superficie a parità di volume, migliorando così lo scambio di calore con l'aria.

I termosifoni, il vento, la deriva dei continenti e altro ancora

I **moti convettivi** sono essenziali nel funzionamento dei radiatori dei termosifoni (che così riscaldano efficientemente gli ambienti) e degli impianti stessi di termosifone, dove l'acqua riscaldata dal bruciatore risale le tubazioni per raggiungere i radiatori di tutto l'edificio, tornando poi giù dopo essersi raffreddata.

Ma li troviamo anche, inaspettatamente, alla base di fenomeni quali il vento o la formazione delle montagne. Quando il riscaldamento solare provoca la risalita di grandi masse d'aria, altrettanta aria viene richiamata da altre zone con un moto orizzontale che costituisce appunto il vento. Un fenomeno lentissimo, che si estende su ere geologiche, sono invece i moti convettivi delle rocce semiliquide alla base della crosta terrestre, provocati dal calore prodotto dalla radioattività terrestre. Sono questi moti che spostano i continenti e che creano le montagne quando due zolle s'incontrano.

E non basta, perché ai moti convettivi della materia che costituisce il Sole si deve il trasferimento dell'energia generata dalle reazioni nucleari nel suo nucleo interno, verso le regioni superficiali della nostra stella, che poi la irradiano attorno.

Se si ha presente il ruolo della circolazione dell'aria nel funzionamento dei termosifoni si capisce che questa circolazione va favorita e non resa disagevole, come avviene per esempio quando si dispone una graziosa mensoletta proprio sopra a un radiatore.

Le stesse considerazioni, fatte però all'inverso, riguardano anche i cassonetti delle serrande, che sono ricchi di fessure con conseguenti spifferi, soprattutto nelle abitazioni più vecchie. Qui occorre infatti ridurre al minimo gli scambi di calore. E del resto per «bonificare» questi cassonetti sono disponibili soluzioni quali apposite bande autoadesive e mastici sigillanti.

I locali non utilizzati

È chiaro che non conviene spendere energia per riscaldare, d'inverno, o rinfrescare, d'estate, i locali di casa non utilizzati (ripostigli, stanze degli ospiti, ecc.). Meno chiara, forse, è la convenienza di mantenere ben chiuse le porte di questi ambienti. E allora vediamo perché. Così facendo, d'inverno si evita che i moti convettivi dell'aria sottraggano calore dalla parte già calda dell'appartamento per riscaldare inutilmente gli ambienti inutilizzati. E viceversa d'estate. Questi locali, con le porte chiuse, vengono ad assumere l'utile ruolo di intercapedini isolanti.

Il condizionamento passivo, ovvero l'uso accorto delle finestre

Difendersi dal caldo estivo, a volte difficilmente sopportabile, senza ricorrere ai condizionatori o riducendone al minimo l'impiego, è possibile utilizzando il cosiddetto condizionamento passivo, cioè impiegando al meglio lo strumento costituito dalle finestre. Con risultati, in pratica, generalmente assai efficaci, soprattutto negli edifici ben costruiti, nei quali il calore che si trasmette attraverso le pareti è modesto, solo una frazione di quello che passa per le finestre.

Ma i condizionatori riscaldano la città?

È facile osservare, per esempio tenendo sott'occhio il termometro dell'auto, che la temperatura delle città è decisamente più alta (anche un paio di gradi) di quella appena fuori. D'estate a questo contribuisce notevolmente il funzionamento dei condizionatori, che buttano fuori enormi quantità di aria calda. Richiedendo perciò condizionatori ancora più potenti. E consumando grandi quantità di energia, che negli Usa arrivano all'8% del fabbisogno complessivo di elettricità.

L'osservazione fondamentale alla base di questo metodo è che la temperatura esterna varia nel tempo con andamento periodico durante la giornata, con un massimo nel primo pomeriggio e un minimo nelle prime ore del mattino[4]. Lasciando le finestre (e ogni altra apertura) sempre aperte, la temperatura degli interni seguirà all'incirca quella dell'aria esterna. Lasciandole sempre chiuse, invece, dopo qualche giorno la temperatura interna andrà a coincidere con la media di quella esterna (o sarà un po' maggiore, se in casa vi sono sorgenti di calore).

Che succede, invece, se apriamo le finestre quando fuori è più fresco che dentro e altrimenti le teniamo ben chiuse? Alle prime ore del mattino l'aria e le pareti degli interni si porteranno a una temperatura relativamente fresca, poco maggiore della minima esterna. Nel corso del giorno, poi, la temperatura interna aumenterà lentamente fino a che, a notte inoltrata, le finestre verranno riaperte. Ma perché diciamo che la temperatura interna aumenterà, sia pure lentamente? Perché le finestre chiuse non sono dei tappi termici perfetti, perché un po' di calore penetra attraverso le pareti e anche perché s'immagina che in casa vi sia qualche apparecchio in funzione, sicuramente il frigorifero, ma anche altri – televisori, calcolatori, stereo e via dicendo – che assorbono elettricità convertendola infine tutta in calore. Per strano che possa sembrare, si converte in calore anche la potenza dei suoni, quelli emessi dallo stereo come qualsiasi altro suono, quando vengono assorbiti dagli oggetti circostanti.

Altro calore, ancora, è prodotto da ogni persona presente in casa, funzionando come stufa biologica con una potenza base circa di un centinaio di watt a testa (che va incrementata a seconda dell'attività fisica svolta, anche se in questi frangenti le attività ginniche non sono particolarmente indicate). Perché un centinaio di watt a persona? Assumendo cibo per circa 2000 Calorie al giorno, questa energia equivale a 2000 × 4186 joule, cioè circa 8 milioni di

[4] Non avviene così in certi luoghi, per esempio a Hong Kong, dove spesso la temperatura notturna non è apprezzabilmente minore di quella diurna. E quindi il condizionamento passivo non è applicabile.

joule. La potenza si ottiene dividendo l'energia per il tempo (un giorno), ottenendo così (8 milioni)/(24 × 3600) cioè circa 100 joule al secondo, ossia 100 watt. È poi chiaro che i più ghiotti scaldano maggiormente, mentre i sobri, gli inappetenti e soprattutto gli anoressici aiutano a mantenere la frescura.

L'attuazione del condizionamento passivo trova fiera opposizione negli amanti del cosiddetto riscontro d'aria, che preferiscono tenere aperte le finestre anche quando fuori fa più caldo che dentro, perché «così, almeno, circola un po' d'aria». Ora è verissimo che la circolazione dell'aria dona una sensazione di fresco, abbassando la temperatura percepita di uno o due gradi, a seconda di quanto l'aria è mossa. Ma è anche vero che nel frattempo, con le finestre aperte, la casa si riscalda e non appena la circolazione s'interrompe la sensazione di caldo tornerà a farsi sentire, e ben più pesantemente di prima.

A meno che non si utilizzi un ventilatore, che d'altra parte conviene usare per muovere aria interna fresca piuttosto che aria esterna calda. E l'energia che alimenta il ventilatore? Anch'essa va a finire tutta in calore, ma fortunatamente la potenza in gioco è generalmente tanto modesta da rendere trascurabile il suo contributo al riscaldamento.

A Bolzano, dove fanno sul serio

L'energia utilizzata complessivamente nelle abitazioni, come si è detto, ammonta a circa un quarto del fabbisogno nazionale. La gran parte di questa, attorno all'80%, copre le esigenze di riscaldamento. Ora è un fatto che i consumi di energia nelle abitazioni italiane sono decisamente più alti di quelli di altri Paesi europei, anche perché gran parte degli edifici esistenti sono stati costruiti in periodi nei quali il costo dell'energia era relativamente basso. Per farsi un'idea, in Italia questi consumi corrispondono mediamente a circa 300 kWh/m^2 all'anno contro, per esempio, 200 kWh/m^2 in Germania, cioè una volta e mezzo tanto.

Tabella 2. Classificazione degli edifici a seconda dei consumi di energia in kWh/m² all'anno (Provincia Autonoma di Bolzano)								
	Edifici di nuova costruzione				Edifici di vecchia costruzione			
classi	ORO	A	B	C	D	E	F	G
consumi	< 15	< 30	< 50	< 70	< 90	< 120	< 160	> 160

Ridurre i consumi degli edifici esistenti è certamente possibile e opportuno, anche a fronte degli incentivi che la legge mette a disposizione. Ma sull'esistente è possibile intervenire solo parzialmente: è senz'altro più conveniente attuare una efficace coibentazione all'origine, cioè nel progetto e nella costruzione delle case. Cosa che consente di ridurre drasticamente i consumi di energia. Per questo è molto opportuno che la normativa imponga ai nuovi edifici il rispetto di determinati vincoli di qualità energetica.



La casa passiva della famiglia Angerer, costruita a Bolzano nel 2007, rientra nella categoria ORO della classificazione «CasaClima» perché per il suo riscaldamento richiede appena 13 kWh/m² all'anno. Cioè meno di un ventesimo della media nazionale.

Un ottimo esempio in questo senso è rappresentato dalla normativa «CasaClima» introdotta qualche anno fa dalla Provincia Autonoma di Bolzano (http://www.agenziacasaclima.it/it/agenzia-casaclima/25-0.html). Tale normativa classifica gli edifici in categorie (Tabella 2) a seconda del loro consumo di energia, attraverso una certificazione dettagliata e rigorosa. Il punto essenziale però sta nella regola secondo la quale i nuovi edifici ricevono il certificato di abitabilità soltanto se rientrano nelle tre classi più virtuose, cioè se i consumi energetici sono inferiori a 70 kWh/m^2 all'anno (e se sono rispettati anche altri vincoli di natura ecologica). Sicché i consumi di energia dei nuovi edifici altoatesini si riducono al di sotto del 70/300 = 23% della media nazionale riguardante l'esistente, con indubbio vantaggio economico per i loro abitanti. Ma anche per noi tutti in termini di inquinamento evitato. E si capisce il vantaggio che si avrebbe se tutta l'Italia dovesse seguire una normativa così rigorosa. Anziché affidare la certificazione energetica degli edifici esistenti a «professionisti», alcuni dei quali svolgono il compito a tavolino, senza ispezionare l'edificio.

Glossario

Caloria

La Caloria (Cal), detta anche grande caloria, è un'unità di misura dell'energia, che equivale a 4186 joule. In pratica occorre 1 Caloria per riscaldare di 1 °C un litro (cioè 1 kg) d'acqua. Questa unità è molto usata per rappresentare l'energia del cibo e valutare quanta energia assumiamo cibandoci; 100 grammi di latte intero, per esempio, ci forniscono 64 Calorie. Bruciando 1 chilogrammo di carburante (benzina o gasolio) si sviluppano circa 10mila Calorie. Si usa a volte anche la cosiddetta piccola caloria (cal), utile a confondere ulteriormente le idee, sicché non ne trattiamo limitandoci a dire che equivale a un millesimo di Caloria e quindi 1 kcal = 1 Cal.

Cambiamenti di stato

I cambiamenti di stato di cui ci occupiamo qui non richiedono passaporti, ma scambi di energia. Perché riguardano il passaggio di una sostanza fra l'uno e l'altro dei tre stati della materia: solido, liquido e aeriforme (gas o vapore). Un punto essenziale è che perché i cambiamenti di stato avvengano occorre, a seconda dei casi, fornire calore alla sostanza oppure sottrarglielo. Per esempio, perché l'acqua evapori o bolla bisogna fornirle calore, mentre occorre invece sottrarre calore al vapor d'acqua per trasformarlo in acqua liquida. E le quantità di calore sono esattamente le stesse nei due casi.

In generale, le quantità di calore in gioco nei cambiamenti di stato di una sostanza sono piuttosto rilevanti al confronto con quelle necessarie a riscaldare o raffreddare di un grado la stessa quantità di quella sostanza. Per raffreddare di un grado un litro d'acqua, ad esempio, basta sottrargli 1 Caloria, mentre per farlo ghiacciare (partendo da acqua a 0 °C) ne occorrono ben 80. E per riscaldare di un grado un litro d'acqua occorre fornirgli 1 Caloria, mentre per far evaporare

lo stesso litro a 100 °C ne occorrono ben 537! Certi cambiamenti di stato, come la fusione di un solido o l'ebollizione di un liquido avvengono a temperatura costante: a pressione atmosferica normale il ghiaccio fonde a 0 °C, l'acqua bolle a 100 °C, cosa che rende possibile tarare i termometri.

Chilowattora

Il chilowattora (kWh) è un'altra unità di misura dell'energia, usata di solito per rappresentare l'energia elettrica. Un chilowattora equivale a 3,6 milioni di joule. E perché? Perché chilo (k) significa mille, in un'ora ci sono 3600 secondi e un watt non è altro che un joule al secondo. Possiamo farci un'idea di un chilowattora considerando che è quanto occorre per un paio di cicli di lavaggio della lavatrice o per far funzionare per un'ora una stufa elettrica con potenza di un chilowatt oppure per tenere accesa per dieci ore una lampadina da 100 watt. O anche, se si preferisce, per far percorrere una ventina di metri a un treno elettrico. A quante calorie equivale un wattora (Wh)? Se un wattora equivale a 3600 joule e una Caloria a 4186 joule, si conclude che 1 Wh = 3600/4186 = 0,86 Cal. Cioè, in primissima approssimazione, la quantità di energia è la stessa.

Colore della luce

Il colore della luce dipende dalla lunghezza d'onda delle radiazioni elettromagnetiche che la costituiscono. Per esempio, chiamiamo rossa una luce con lunghezza d'onda attorno a 0,7 μm (millesimi di millimetro), verde una con lunghezza d'onda attorno a 0,53 μm, blu una con lunghezza d'onda attorno a 0,47 μm. E così via per gli altri colori. La luce del Sole, che noi percepiamo come bianca, è una particolare miscela di luci di tutti i colori dello spettro visibile, l'intensità di ciascuno dei quali dipende dalla sua lunghezza d'onda, secondo una curva caratteristica, chiamata spettro solare. L'intensità massima si ha alla lunghezza d'onda di 0,55 μm, a cui corrisponde il colore giallo-verde. Ma la radiazione solare si estende anche a lunghezze d'onda più lunghe e più brevi di quelle del visibile dato che contiene anche raggi infrarossi e ultravioletti. Che ovviamente noi non vediamo.

Colore delle cose

Un oggetto ci appare verde quando, illuminato, rimanda indietro luce verde perché assorbe tutti gli altri colori. E così uno rosso, giallo o blu. Cioè il colore dei corpi si manifesta attraverso i colori della luce che essi riflettono o diffondono attorno. Come ci appare, allora, un oggetto verde se lo illuminiamo con luce rossa? Evidentemente ci appare nero, perché non vi è luce verde che esso possa rimandare indietro. Per apprezzare al meglio i colori delle cose occorre dunque illuminarle con luce bian-

ca, quella che contiene luci di tutti i colori dello spettro visibile. Cioè praticamente con la luce del Sole, che costituisce il nostro riferimento, perché è ad essa che i nostri occhi sono stati adattati dall'evoluzione ed è quella a cui siamo abituati. Attenzione però: la sensazione del colore è assolutamente soggettiva, nel senso che quando due persone, guardando uno stesso oggetto, dicono per esempio che è rosso, non abbiamo alcuna possibilità di stabilire cosa effettivamente percepisce ciascuna di esse.

Combustione

La combustione è il processo per cui un combustibile – il petrolio, il carbone, il gas naturale, il legno o altro ancora – reagisce con l'ossigeno dell'aria liberando la sua energia chimica, che viene trasformata in calore (e nella luce della fiamma). I prodotti di queste reazioni, che si sviluppano nei fumi, dipendono dalla composizione chimica del combustibile; il carbonio presente produce anidride carbonica (biossido di carbonio, CO_2), l'idrogeno produce vapor d'acqua. Ma si producono piccole quantità anche di altre sostanze, tipicamente ossidi di azoto e di zolfo e, bruciando carbone e legna, particelle carboniose incombuste; e anche piccolissime quantità di sostanze radioattive, dato che il carbone contiene minuscole frazioni di uranio e di torio. Se poi la combustione del carbonio è solo parziale, si sviluppa ossido di carbonio (CO), che è un gas molto velenoso, spesso letale.

Dilatazione termica

Quando i corpi vengono riscaldati il loro volume aumenta, cioè si espandono, siano essi solidi, liquidi o gas. L'effetto è piccolo: un filo di ferro lungo un chilometro si allunga di appena 12 millimetri per ogni grado di aumento della sua temperatura. Ma può avere conseguenze importanti, per esempio quando un lungo ponte di ferro subisce forti variazioni di temperatura fra inverno ed estate. Ma perché l'acqua che riempie all'orlo un pentolino suole traboccare quando la si riscalda più di tanto? Il fatto è che l'acqua si dilata più dei metalli: se fosse il contrario l'acqua non trabocche-rebbe.

Effetto Joule

L'effetto Joule consiste nello sviluppo di calore quando un conduttore elettrico (come la resistenza di una stufa o un qualunque filo di metallo) è attraversato da una corrente elettrica. La quantità di calore così prodotta, oltre che al tempo, è direttamente proporzionale alla resistenza che il conduttore oppone al passaggio della corrente e al quadrato dell'intensità della corrente.

Elettrone

L'elettrone, per quanto ne sappiamo attualmente, è la particella dotata della carica elettrica più pic-

cola. Che è davvero estremamente piccola dato che per accendere una torcetta ne devono passare ben 6 miliardi di miliardi ogni secondo (se la corrente ha l'intensità di 1 ampere).

Emissione termica

Potrà sembrare strano, ma è un fatto: qualsiasi corpo, incluso il nostro, emette radiazioni elettromagnetiche in ragione della temperatura a cui si trova. Si chiama emissione termica ed è nota da oltre un secolo. Queste radiazioni provengono dalla superficie dei corpi e quindi quello che conta è la temperatura della loro superficie. Perciò nel caso del Sole si tratta della sua temperatura esterna (circa 5800 °C). Che è molto minore di quella del suo interno (parecchi milioni di gradi) dove si svolgono le reazioni nucleari da cui proviene quell'energia, che come diceva Carducci «ci rallegra di luce e di calor».

L'intensità della radiazione termica, più precisamente, è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta (che si misura in gradi kelvin e si calcola sommando 273 a quella espressa in gradi centigradi o Celsius). La lunghezza d'onda di questa radiazione? Si estende attorno a quella di intensità massima, che a sua volta è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta. Così, per esempio, il massimo dell'emissione termica della mia pelle, che si trova a circa 37 °C, cioè a 310 kelvin, ha lunghezza d'onda di 9,3 millesimi di millimetro.

Energia chimica

L'energia chimica è quella immagazzinata in determinate sostanze, che opportune reazioni chimiche possono trasformare in altre forme di energia. Si produce energia termica, cioè calore, bruciando le sostanze combustibili con l'ossigeno dell'aria. Nelle pile, invece, si svolgono reazioni che trasformano l'energia chimica in energia elettrica. Le pile ricaricabili, come pure le batterie delle auto, sono capaci di fare anche il viceversa, cioè trasformare energia elettrica in energia chimica. Ma non integralmente, perché a ogni ciclo di carica e scarica una piccola frazione (attorno al 10%) di questa energia viene dissipata in calore.

Energia elettrica

L'energia elettrica è una delle forme più pregiate di energia perché «tuttofare», in quanto si può trasformare molto facilmente in altre forme di energia. Più precisamente, l'energia elettrica permette di ottenere calore, accendere luci, azionare motori, trasmettere segnali a distanza, tirar fuori suoni e immagini, azionando così una miriade di apparecchi diversi, e altro ancora. Senza i fumi e le fiamme delle candele, delle lampade a petrolio e di altri tipi di bruciatori. Senza il rumore e le emissioni in-

quinanti dei motori termici. Proprio per queste ragioni l'energia elettrica è preziosa, soprattutto in casa.

Energia meccanica

Per energia meccanica s'intende sia l'energia di posizione che quella di movimento. Un pendolo è un ottimo esempio di scambio continuo fra queste due forme di energia. Quando esso si trova nel punto più alto della sua traiettoria, e si ferma per un istante, l'energia è tutta di posizione e niente di movimento; mentre nel punto più basso, quando il pendolo è più veloce, l'energia è tutta di movimento e niente di posizione (se si misura l'energia di posizione rispetto al punto più basso). Siccome in assenza di attriti l'energia meccanica si conserva, cioè resta invariata, allora l'energia di posizione posseduta dal pendolo in alto è uguale all'energia di movimento posseduta in basso. Esattamente uguale in teoria, ma in pratica solo approssimativamente perché una piccola frazione di energia si dissipa continuamente, tant'è vero che qualsiasi pendolo, prima o poi, si ferma a causa della resistenza che l'aria oppone al suo moto.

Energia di movimento

Detta anche energia cinetica, questa è l'energia che possiede un corpo in moto, sia quando procede dritto per dritto sia quando ruota attorno a se stesso. Nel caso più semplice, l'energia di movimento E di un corpo di massa m con velocità v, è data dalla metà del prodotto della massa per il quadrato della velocità: $E = 1/2\ mv^2$. Esprimendo la massa in chilogrammi e la velocità in metri al secondo si ottiene l'energia in unità di joule. Anche l'energia di movimento di un'auto è proporzionale al quadrato della sua velocità, e quindi se i danni provocati da un urto dipendono dall'energia in gioco, si capisce che raddoppiare la velocità non raddoppia ma quadruplica gli effetti di un eventuale urto.

Energia di posizione

Detta anche energia potenziale, l'energia di posizione è quella che possiede un corpo in ragione della sua posizione. Di solito quello che interessa sono le variazioni di questa energia. Nel caso più semplice, se un corpo di massa m viene sollevato di h metri, la sua energia di posizione E aumenta di una quantità data dal prodotto della massa per l'altezza e per l'accelerazione di gravità (che vale 9,8 m/s^2): $E = 9{,}8\ mh$, con la massa espressa in chilogrammi e l'altezza in metri.

Non così, naturalmente, sulla Luna, dove la gravità è assai minore, circa un sesto di quella terrestre.

Energia termica

L'energia termica è l'energia che un corpo possiede in ragione della sua temperatura. Tanto più questa è alta, tanto maggiore è la sua energia termica. Che però non

dipende solo dalla temperatura del corpo ma anche, semplificando, dalla sua massa. E questa è la ragione per cui l'energia termica di un radiatore del termosifone, che può riscaldare una stanza, è assai maggiore di quella di un fiammifero – sebbene la temperatura del fiammifero sia assai maggiore di quella del termosifone – tant'è vero che il fiammifero può bruciarci un dito. Come sinonimo di energia termica si usa comunemente la parola calore, che però a rigore indica l'energia termica in movimento, cioè quando essa si trasferisce da un corpo a un altro.

Equilibrio termico

Ponendo in qualche modo a contatto fra loro due corpi che si trovano a temperature differenti e che sono isolati dal resto, questi scambiano calore fra loro fino a raggiungere prima o poi uno stato di equilibrio assumendo entrambi una stessa temperatura. Naturalmente intermedia a quelle iniziali. Perché ciò avvenga, il più caldo deve cedere calore al più freddo. Cosa che avviene del tutto spontaneamente, anche se magari lentamente (come avviene per una patata bollente posta in un piatto freddo). Funziona così, per esempio, un termometro a mercurio, che misura la temperatura del mercurio contenuto nel serbatoio. La quale rappresenta effettivamente la temperatura del nostro corpo soltanto quando il termometro, a contatto con la pelle, ha raggiunto l'equilibrio termico (e se non l'ha raggiunto la temperatura risulterà più bassa).

Fotone

Il fotone è la particella, priva di massa e in moto continuo alla velocità della luce, che costituisce il quanto elementare della radiazione elettromagnetica. L'essenza della luce, delle onde radio e di tutte le radiazioni elettromagnetiche si riduce quindi a un flusso di fotoni. E anche a un flusso di energia, dato che i fotoni possiedono energia, in diversa misura a seconda della loro natura (onde radio, luce, raggi X, ecc.). I fotoni ultravioletti, X e gamma sono particelle «ionizzanti» perché possiedono energia sufficiente a strappare un elettrone da un atomo e quindi a rompere i legami chimici. I più energetici fra questi, come gli X e i gamma, sono in grado di penetrare in profondità nella materia. Infatti i raggi X sono usati per fare le radiografie.

Frigorifero

Il frigorifero è una macchina che estrae calore dal suo interno, che così si raffredda, gettandolo fuori dove è più caldo. Tale operazione, tutt'altro che spontanea, può avvenire soltanto grazie alla somministrazione di energia dall'esterno, che nel caso dei frigoriferi usuali viene prelevata dalla rete elettrica. Questa energia aziona un motore, un compressore e gli altri marchingegni di questa macchina. Co-

me funziona? Prima si comprime un gas costringendolo a liquefarsi, sviluppando così calore che viene ceduto all'aria esterna tramite la serpentina; poi si lascia espandere questo liquido in modo che evapori, così assorbendo calore che viene risucchiato dagli scompartimenti interni dell'apparecchio. Ma ci sono anche altre tecniche di raffreddamento. Una delle più interessanti trova impiego nei frigoriferi detti a semiconduttore: piccoli, leggeri e senza parti in movimento (motori e compressori). Che però non sono molto potenti, garantendo un salto di temperatura fino a una ventina di gradi fra l'esterno e l'interno, e consumano parecchia energia. Funzionano grazie all'effetto Peltier, che ha le sue radici nell'effetto Volta grazie al quale funzionano le pile elettriche, ma su questo non andiamo oltre.

Joule

Il joule (J) è l'unità di misura standard dell'energia. Un joule rappresenta una quantità di energia relativamente piccola: all'incirca l'energia di posizione di una massa di 100 grammi sollevata di un metro rispetto a terra, oppure l'energia di movimento acquistata della stessa massa quando la si lascia cadere da un metro di altezza e sta per toccare il suolo. Circa 10 MJ (milioni di joule) occorrono invece per produrre una pagnotta da un chilogrammo. Ma chi era Joule? James Prescott Joule era un fisico inglese dell'800, che mise ordine nelle questioni relative all'energia, in particolare occupandosi della trasformazione in calore dell'energia meccanica e di quella elettrica.

Lavoro meccanico

Si compie lavoro meccanico quando una forza sposta il suo punto di applicazione vincendo una corrispondente forza resistente diretta nel verso opposto. Per esempio quando una forza motrice spinge un'automobile vincendo gli attriti che si oppongono al moto. Per compiere lavoro occorre spendere energia. L'unità di misura del lavoro è il joule (J), la stessa dell'energia.

Lunghezza d'onda

La lunghezza d'onda è la distanza fra due creste successive (o due valli successive) di un'onda che si propaga. Come le onde del mare – quelle create gettando un sasso in uno stagno – oppure le onde elettromagnetiche.

Microcogenerazione

Sappiamo che un motore termico può convertire in energia meccanica solo una parte del calore prodotto dal combustibile. Il resto viene tipicamente disperso nell'ambiente, cioè buttato via. E quindi il rendimento, cioè il rapporto fra l'energia meccanica sviluppata e l'energia termica consumata è sempre minore del 100%, anche di parec-

chio. L'idea alla base della cogenerazione è quella di utilizzare questo calore residuo, per esempio per riscaldare dell'acqua da utilizzare poi per il riscaldamento delle abitazioni o per altri impieghi. E allora il rendimento è ben maggiore, potendosi avvicinare (idealmente) al 100%. La cogenerazione trova oggi impiego in impianti, detti di teleriscaldamento, che producono elettricità e al tempo stesso provvedono al riscaldamento di grandi comprensori o di interi quartieri. Si parla poi di microcogenerazione quando si tratta di impianti di piccola potenza, inferiore a 50 kW elettrici, adatti all'alimentazione elettrica e al riscaldamento di un condominio o di un singolo edificio.

Moti convettivi

I moti convettivi si manifestano in un liquido o in un gas quando la sua temperatura non è uniforme, per esempio perché viene riscaldato da qualche parte, come avviene sul fondo di una pentola piena d'acqua che si trova sul fuoco. In tal caso l'acqua riscaldata si espande sicché la sua densità diminuisce: diventata più leggera dell'acqua sovrastante, essa tende a salire richiamando così sul fondo acqua più fredda, che a sua volta poi si riscalda e...

Si capisce che se non vi fosse questo meccanismo si riscalderebbe soltanto lo strato d'acqua sul fondo, che trasmetterebbe poi solo assai lentamente il suo calore al resto del contenuto della pentola. Preziosi nelle pentole come nei radiatori dei termosifoni, che cedono calore all'aria che li lambisce mettendola in circolazione, i moti convettivi sono invece nefasti d'inverno quando vi sono delle fessure negli infissi di casa. In tal caso l'aria calda sfugge fuori dalle fessure in alto, richiamando quindi dall'esterno aria gelida attraverso le fessure in basso e creando così dei vivaci spifferi.

I princìpi della termodinamica

Contrariamente alla loro denominazione, i princìpi della termodinamica, non riguardano soltanto i fenomeni termici, ma tutti i fenomeni fisici, cioè tutto. E quindi sono importantissimi.

Il primo principio, veramente fondamentale, stabilisce la conservazione dell'energia. Cioè che l'energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma da una forma all'altra. Fra queste varie forme rientra l'energia meccanica, quella termica (il calore), quella elettrica, quella chimica dei combustibili e delle pile, quella elettromagnetica emessa dalle antenne radio e Tv, ecc., cioè tutte le energie «misurabili» e utilizzabili effettivamente per fare qualcosa. Non vi rientrano invece le energie vitali ed altre energie non ben definite, che pure trovano ampio spazio sul Web (cercando «energia vitale» su Google si trovano circa 700mila risultati).

Assai meno ovvio è il secondo principio, che può essere formulato

in vari modi, apparentemente diversi ma che poi si dimostrano equivalenti fra loro grazie a raffinati ragionamenti. Limitandosi all'essenziale, il secondo principio stabilisce che mentre l'energia meccanica e quella elettrica possono essere trasformate integralmente in calore, il contrario è soggetto a dolorose limitazioni. In concreto, quando un'automobile frena e si ferma, tutta la sua energia di movimento si trasforma in calore; ma solo una parte del calore prodotto bruciando il carburante può convertirsi in energia di movimento, cioè far marciare l'auto.

Il terzo principio, infine, lo lasciamo perdere, come pure il cosiddetto principio zero.

Motore termico

Con ciò s'intende un congegno che mette in moto qualcosa utilizzando il calore, compiendo cioè la trasformazione di energia termica (calore) in energia meccanica. Ma purtroppo questa trasformazione può essere solo parziale; sicché una parte (spesso alquanto abbondante) del calore iniziale viene inevitabilmente restituita all'ambiente. Esempi di motori termici sono i motori delle automobili, sia quelli diesel che quelli a scoppio, e le turbine a vapore e a gas usate nelle centrali elettriche termiche.

Importantissimo è il motore a vapore inventato da James Watt nel 1769, a cui si deve il grande sviluppo della rivoluzione industriale e la diffusione delle ferrovie. Già a quel tempo migliorare il rendimento dei motori termici era un obiettivo importante, che infatti è menzionato esplicitamente nel titolo del brevetto di questa invenzione *Metodo nuovamente trovato per la riduzione del consumo di vapore e combustibile nelle macchine a fuoco*.

Potenza

La potenza si misura in watt (W), cioè in joule al secondo. Quindi la potenza rappresenta un rapporto fra energia e tempo: fra energia ceduta (per esempio da una pila) o assorbita (per esempio da una lampadina) e tempo durante il quale avviene il trasferimento dell'energia. Un watt è, all'incirca, la potenza che fa funzionare una torcia elettrica. Un chilowatt (cioè mille watt) è la potenza assorbita tipicamente da una stufa elettrica. Cinque megawatt (cinque milioni di watt) rappresentano la potenza necessaria a far marciare un treno.

Prefissi delle unità di misura

Per rappresentare in modo immediato e compatto i valori di grandezze che sono molto piccoli o molto grandi, si usano i cosiddetti prefissi o i loro simboli abbreviati. Per esempio mille si indica con chilo (k), un milione con mega (M), un mille-

tera (T)	10^{12}
giga (G)	10^{9}
mega (M)	10^{6}
kilo (k)	10^{3}
milli (m)	10^{-3}
micro (μ)	10^{-6}
nano (n)	10^{-9}
pico (p)	10^{-12}

simo con milli (m), un milionesimo con micro (μ). E via dicendo, dato che ve ne sono parecchi altri.

Radiazione elettromagnetica

La radiazione elettromagnetica è una forma di energia prodotta dalla vibrazione di cariche elettriche, che si trasmette a distanza anche attraverso il vuoto. È radiazione elettromagnetica l'energia emessa dalle antenne radio. È energia elettromagnetica anche la radiazione termica emessa da qualsiasi oggetto in ragione della sua temperatura, come il Sole, la resistenza di una stufa elettrica, le pareti del forno di casa e noi stessi. Nella visione classica della fisica, questa energia si propaga a distanza nella forma di onde, le onde elettromagnetiche, che sono caratterizzate dalla loro lunghezza d'onda oppure dalla frequenza con cui oscillano. Nella visione moderna, che va più nel fino, questa radiazione è costituita da particelle elementari prive di massa: i fotoni, che sono in moto continuo, da quando sono emessi a quando vengono assorbiti, naturalmente viaggiando alla velocità della luce.

Alla domanda «Ma insomma si tratta di onde o di particelle?», la risposta è che si tratta di tutte e due. In modo simile alle due diverse facce di una medaglia: entrambe esistono effettivamente e si possono osservare, ma solo una per volta. Come affermò un secolo fa il fisico Louis de Broglie, uno dei padri della meccanica quantistica, che è la teoria fisica che conduce a questo e ad altri paradossi, peraltro tutti ben verificati dal punto di vista sperimentale. E del resto la natura costruisce le cose senza sapere come poi noi le classifichiamo.

Spettro elettromagnetico

Con questo termine si indica l'insieme dei diversi tipi di radiazioni elettromagnetiche, suddivisi in base alle loro lunghezze d'onda o alle loro frequenze di oscillazione. Le lunghezze d'onda si estendono su molti ordini di grandezza, dalle dimensioni dei nuclei atomici ai chilometri. Le lunghezze d'onda minori competono ai raggi gamma e poi ai raggi X, a cui nell'ordine seguono i raggi ultravioletti, la luce visibile, i raggi infrarossi, le microonde e le onde radio; queste ultime con lunghezze d'onda che arrivano ai chilometri e oltre. La natura fisica di tutte queste radiazioni è la stessa, ma assai diverso è il modo in cui interagiscono con la materia e quindi assai diversi sono sia i loro effetti che i modi di generarle, rivelarle e utilizzarle.

Spettro visibile

Rappresenta la porzione dello spettro elettromagnetico le cui radiazioni sono percepite dal nostro occhio. Si tratta di un fettina veramente minuscola, corrispondente alle lunghezze d'onda com-

prese grosso modo fra 0,38 μm (limite del violetto) e 0,76 μm (limite del rosso), dove il prefisso μ (micro) significa un milionesimo. A queste lunghezze d'onda corrispondono oscillazioni con frequenze molto maggiori di quelle delle onde radio e televisive.

Teleriscaldamento, *si veda* Microcogenerazione

TEP (tonnellata equivalente di petrolio)

La tonnellata equivalente di petrolio (TEP) è un'altra, fra le tante, unità di misura dell'energia. Convertiamola in Calorie, sapendo che bruciando 1 kg di petrolio si ottengono 10mila Calorie. E allora: 1 TEP = 1000 × 10 000 = 10^7 Calorie, cioè 10 milioni di Calorie. Riconduciamola anche a joule, sapendo che 1 Cal = 4186 joule: 1 TEP = $10^7 \times 4186 = 4{,}186 \times 10^{10}$ joule, cioè circa 40 miliardi di joule.

Unità di misura

Il valore di una grandezza, per esempio l'altezza di un armadio, si esprime rappresentandola con un numero e un'unità di misura. Nel caso dell'armadio potremo dire per esempio che la sua altezza è 2,2 metri. Per ogni diversa grandezza (temperatura, massa, potenza, ecc.) vi è un'apposita unità di misura standard, ma spesso se ne usano anche altre. Come nel caso dell'energia, la cui unità di misura standard è il joule, ma che si misura anche in numerosi altri modi, creando così una notevole confusione: chilowattora, Caloria, tonnellata equivalente di petrolio (TEP), metro cubo equivalente di gas, unità termica britannica (BTU), ecc.

Le unità di misura sono rappresentate da nomi (metro, volt, joule, metro al secondo, ecc.) e da corrispondenti simboli abbreviati (m, V, J, m/s, ecc.). E quando occorre si usano anche i prefissi.

Indice

Prefazione
di Carlo Bernardini 5

Premessa 9

1. Introduzione alla sobrietà 11

Il necessario e il superfluo 16
L'estetica scientifica della sobrietà: il risparmio energetico 19
Facciamo qualche esempio 21
Anidride carbonica, effetto serra e protocollo di Kyoto 24

2. Il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici 29

Seguiamo le leggi fisiche se non vogliamo seguire quelle dello Stato 30
Il caso dei doppi vetri 32
Dentro al letto 33
Il riscaldamento della casa: autonomo o centralizzato? 34
I termosifoni in gabbia? Un controsenso 35
I locali non utilizzati 37
Il condizionamento passivo, ovvero l'uso accorto delle finestre 37
A Bolzano, dove fanno sul serio 39

3. L'illuminazione della casa 43

Lampadine o stufette? 43
La luce bianca è fatta di tanti colori 45
Energia luminosa o flusso luminoso? 47
Le lampade fluorescenti 48
Un fotone per ogni elettrone? 50
Ma a noi cosa occorre? L'illuminamento degli ambienti 53
Convenienza energetica e convenienza economica 54
Dalle candele agli OLED e ai laser 55

4. In cucina 57

Il colore delle pentole 57
Pentola grande o pentola piccola? 58
L'acqua che bolle: un termostato naturale o un invito allo spreco? 58
Il coperchio: a che serve? 60
La pentola a pressione 61
L'ebollizione dell'acqua e la pressione dell'aria 62
L'azione mirata del forno a microonde 62
Attenzione però al vapor d'acqua! 63
Il microonde e le leggende metropolitane 64
La prova del bicchiere d'acqua 66
Cuocere con il telefonino? 67
Il forno tradizionale: quand'è che ha senso usarlo? 68
Acceleriamo i tempi di cottura 69
I corpi caldi, quando si raffreddano, rilasciano calore. Il caso del frigorifero e quello del forno 70
Il frigorifero 71
I prodotti di stagione 72

5. In bagno 75

Lavarsi le mani e il viso 75
L'acqua che scorre lietamente 76

6. L'elettricità in casa 79

Quando manca è un dramma, quando c'è si spreca 79
Le fasce orarie 81
Le eco-etichette 81
Il televisore sempre acceso? 83
Lo *stand-by* e la «ciabatta» 84
Le pile ricaricabili 85
L'elettricità in proprio, ovvero il fotovoltaico 86
Pedalando 89

7. Per le scale 91

8. L'automobile 93

Il frenetico che ci precede 93
Dove va a finire l'energia del carburante? 95
Quando il motore romba al meglio, è meglio davvero? 98
Fari sempre accesi? 99
Etichette energetiche e classi ecologiche 99
Rottamare o non rottamare? Questo è il problema 100
E l'automobile elettrica? 101
SUV, ovvero l'apoteosi del superfluo 105
Viaggi e spostamenti 106

9. I rifiuti e la raccolta differenziata 109

10. Per concludere 115

Glossario 121

Volume di pagine 136
con 17 illustrazioni a colori
carta naturale di alta qualità, senza legno,
riciclabile, Bianco offset, 80 gr/mq

Finito di stampare
nel luglio 2012
dalla Dedalo litostampa srl, Bari