

Microenergia, grande impatto

Luca Gammaitoni

Secondo il rapporto “SMART 2020” le tecnologie dell’informazione e della comunicazione possono ridurre l’emissione globale di gas serra. È possibile, ma dovremo prima ridurre il loro consumo di energia, un obiettivo raggiungibile solo investendo in ricerca

Ha fatto discutere il recente rapporto “SMART 2020: *Enabling the low carbon economy in the information age*” prodotto dal Gruppo del Clima della “*Global eSustainability Initiative (GeSI)*”. Si tratta di uno studio condotto da esperti internazionali e presentato recentemente al Forum mondiale sull’Economia di Davos, in Svizzera. In questo rapporto si afferma che “i settori legati alla tecnologia dell’informazione potrebbero causare una riduzione pari al 15% della emissione globale di gas serra (*greenhouse gas - GHG*) e contemporaneamente produrre nuove occasioni di sviluppo economico del valore di miliardi di dollari”.

L’idea di base è piuttosto intrigante: la crescente diffusione delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione (ICT), soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, anziché produrre l’ennesima occasione d’inquinamento, potrebbe favorire uno sviluppo ecosostenibile basato su una significativa riduzione dei gas serra. Resta da capire come ciò sia possibile, ovvero come sia compatibile uno sviluppo crescente (economico, industriale, sociale in senso ampio) con un piccolo *carbon footprint*, come oggi viene comunemente definita la quantità di emissione di gas serra calcolata per ogni produzione industriale o evento di massa.

Il rapporto “SMART2020” – chiamato così perché auspica che nel 2020 si raggiunga una riduzione del 20% del *carbon footprint* su scala planetaria rispetto ai valori del 1990 – spiega che ciò sarà possibile grazie alla maggiore efficienza introdotta da un uso massiccio delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione. Nel rapporto vengono discussi diversi esempi del modo in cui, in paesi come Cina e India, l’impiego saggio di ICT su grande scala può ridurre la emissione di GHG e favorire uno sviluppo sostenibile. Gli esempi prodotti – che vanno dall’automazione del lavoro in fabbrica alla gestione saggia di consumi nei trasporti – e le affermazioni generali contenute nel rapporto sono in genere credibili e significative.

Prima però di lasciarci cullare dal sogno di uno sviluppo sicuro e a basso tasso d’inquinamento, vale la pena fare qualche riflessione aggiuntiva sull’impatto che un maggior uso dell’ICT avrà sulla produzione di gas serra. Affinché la cura non sia peggiore della malattia, resta infatti da capire quale sia il *carbon footprint* lasciato da un uso massiccio dell’ICT. Su questo aspetto occorre dire che il rapporto è abbastanza dettagliato e disegna uno scenario possibile come quello rappresentato sinteticamente in figura 1. Dalla figura si evince chiaramente che il contributo percentuale dell’ICT sulla produzione globale di gas serra passerebbe dallo 0.5% del 2002 al 1.4% del 2020, triplicando quindi il proprio peso relativo rispetto ad altre sorgenti. Nella stessa figura è anche illustrato tuttavia che il beneficio possibile, derivante dall’uso massiccio delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione, può essere rappresentato da una riduzione dei gas serra da 51.9 miliardi di tonnellate a circa 30 miliardi di tonnellate. A fronte di questo interessante scenario, vale la pena chiedersi se non sia possibile migliorare le prestazioni delle tecnologie associate all’ICT, per far sì che l’impiego massiccio di tali tecnologie possa risultare in un minore consumo di energia, assieme ad un ridotto impatto sul *carbon footprint*.

IL DIBATTITO “DISRUPTIVE SOLUTIONS FOR ENERGY EFFICIENT ICT”

Proprio su questa questione, la Commissione Europea ha organizzato nei giorni scorsi un’interessante consultazione, invitando a Bruxelles una ventina di scienziati da tutta Europa per partecipare all’*Expert Consultation Workshop “Disruptive Solutions for Energy Efficient ICT”*. Il tema al centro del dibattito era infatti direttamente collegato alla produzione di CO₂ attribuibile alla crescente diffusione delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione. Avendo avuto l’opportunità

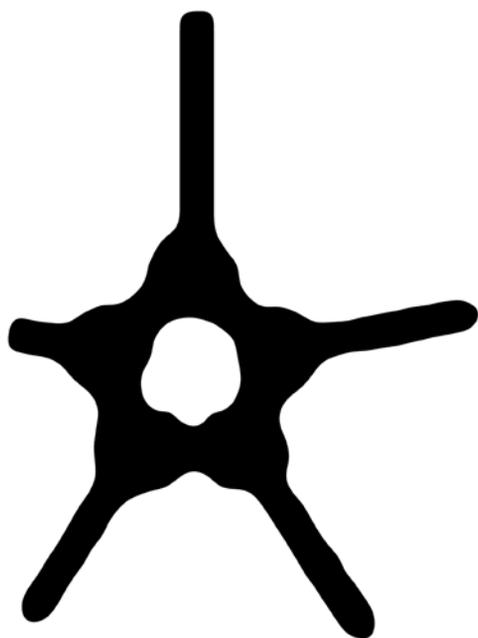
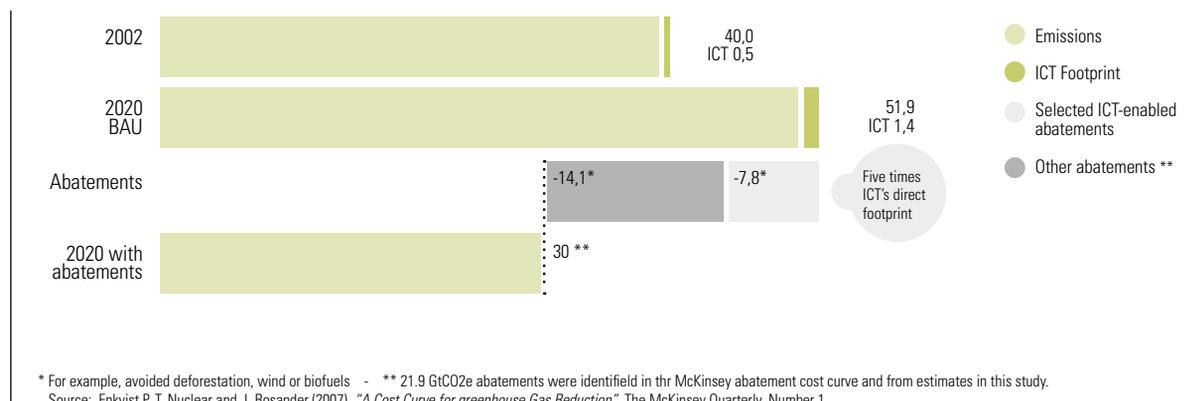


Figura 1 - Impatto delle tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione. Fonte Rapporto "SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age". In nero i valori assoluti di gas serra espressi in CO₂ equivalente misurati in miliardi di tonnellate, in verde la percentuale del contributo ICT al carbon footprint



di partecipare personalmente a questo incontro, posso dire di aver toccato con mano il fatto che in Europa esiste una ben precisa coscienza della necessità di inventare strade nuove in grado di condurci a dispositivi di calcolo (e di comunicazione) ispirati da principi innovativi, diversi da quelli tradizionalmente basati sul silicio e sulla ben assestata tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

La CMOS ha fino ad oggi rappresentato la tecnologia base che consente la produzione pressoché ininterrotta di computer sempre più veloci e contemporaneamente sempre più piccoli. Tuttavia, al continuo incremento



Migliorando le prestazioni delle tecnologie associate all'ICT, si ridurrebbe il consumo di energia

delle prestazioni si è associato un corrispondente incremento dell'energia richiesta. È interessante notare come uno dei più importanti ostacoli che si interpone oggi alla ulteriore miniaturizzazione dei transistor basati su CMOS sia rappresentato proprio dalla notevole dissipazione di energia – sotto forma di calore che viene ceduto all'ambiente – utilizzata per il loro funzionamento. Come può verificare chiunque abbia un computer por-

tile, dopo qualche minuto di utilizzo è pressoché impossibile continuare a tenerlo sulle ginocchia (a dispetto dell'appellativo "lap-top" che significa appunto "sopra-le-ginocchia"), a causa dell'eccessivo riscaldamento della struttura. Questo calore è generato dal microprocessore, nel quale oramai miliardi di transistor che producono miliardi di transizioni al secondo trasformano in calore una cospicua percentuale dell'energia in ingresso. I transistor presenti nel microprocessore sono i mattoni che compongono i cosiddetti dispositivi di calcolo, ovvero le porte logiche e le memorie DRAM che vengono normalmente impiegate per elaborare l'informazione in un moderno PC. Per meglio comprendere il flusso di energia nel microprocessore, consideriamo lo schema illustrato in figura 2. Il dispositivo elementare di calcolo è qui rappresentato dal box "ICT device". Questo vede in ingresso (a sinistra nella figura) due distinte grandezze fisiche: l'energia sotto forma di lavoro svolto dalla forza elettromotrice, espressa in Joule (o la potenza espressa in Watt = Joule/sec) e l'informazione, codificata come segnale di tensione elettrica ed espressa in bit. In uscita (a destra nella figura) ci sono le stesse due grandezze trasformate: l'energia viene ceduta all'ambiente sotto forma di calore e l'informazione viene trasmessa al dispositivo successivo sotto forma di bit. L'efficienza energetica di un qualsiasi dispositivo (e quindi anche di un dispositivo di calcolo) è definita come la percentuale di lavoro in ingresso che viene utilizzato per il funzionamento del dispositivo (e trasformato in energia potenziale o cinetica

“macroscopica”) e non dissipato come calore. In pratica, se si potesse ridurre a zero la dissipazione di calore, allora avremmo un’efficienza energetica pari a uno. Migliorare l’efficienza energetica dei dispositivi di calcolo è proprio l’obiettivo che si pone la Commissione Europea in vista del contributo progressivamente più importante che l’ICT assumerà nei prossimi anni. In sintesi, l’equazione che viene utilizzata è la seguente: più ICT significa meno gas serra, a patto che l’ICT stessa diventi energeticamente più efficiente, ovvero i dispositivi di calcolo elementari possano funzionare dissipando meno energia sotto forma di calore. Per raggiungere tale obiettivo la strada è ancora lunga ma, negli ultimi anni, un crescente numero di scienziati ha iniziato a dedicarsi a questo programma. Proviamo a vedere brevemente quali sono le tappe di questo cammino.

LE RICERCHE SUI LIMITI FISICI DEL CALCOLO

Il punto di partenza va rintracciato nei lavori svolti negli anni Trenta da John von Neumann - ripresi successivamente da Landauer e Bennet negli anni Sessanta e Settanta - riguardanti i limiti fisici del calcolo. Si è mostrato che esiste un’importante connessione tra l’energia minima necessaria per eseguire un calcolo e la variazione di quantità d’informazione associata al calcolo stesso. In particolare, oggi sappiamo che esiste una quantità minima di energia che occorre spendere ogni qual volta si intenda scrivere un bit d’informazione su un dispositivo che si trovi inizialmente in uno stato indefinito. Questa operazione, talvolta chiamata “operazione di reset”, produce una diminuzione dell’Entropia del sistema e, quindi, richiede una quantità definita di energia. Tale energia minima vale $Q = T K_B \text{Log } 2$ (con T temperatura e K_B costante di Boltzman) e, in un computer che operi a temperatura ambiente, è quantificabile in circa 10^{-21} J. Dove 1 J è l’energia tipica che serve per sollevare una mela (100 g) di un metro sulla terra o, se preferite, circa un centesimo dell’energia media che un uomo consuma ogni secondo per vivere. Questo per dire che 10^{-21} J, intesa come limite fisico all’energia per operazione elementare di calcolo, è una quantità di energia davvero piccola. Proviamo a confrontarla con l’energia richiesta dal funzionamento dei computer odierni. Un tipico PC nel suo funzionamento (monitor escluso) consuma una potenza di circa 10 W – ovvero 10 J/s – e compie come ordine di

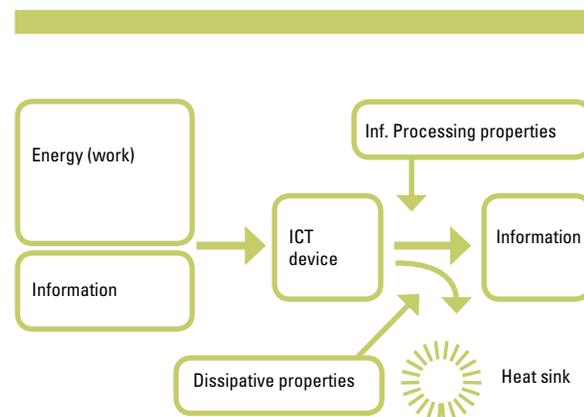


Figura 2 - Schema del flusso di energia e di informazione in un tipico dispositivo ICT

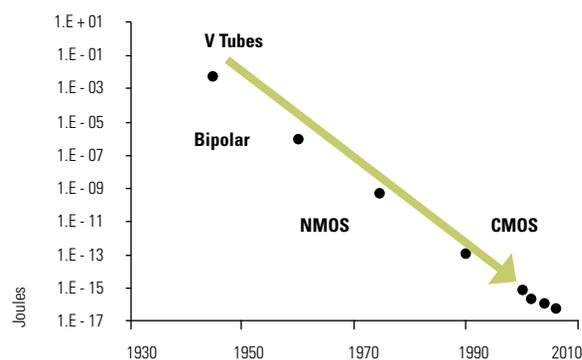
grandezza circa 1 miliardo di “operazioni elementari” al secondo (in questo caso non è importante definire esattamente il termine “operazione elementare” poiché qui siamo solo interessati a stimare il consumo medio attuale). Questo ci porta a stimare un consumo di energia pari a 10^{-8} J per operazione, circa tredici ordini di grandezza più di quanto le leggi della Fisica sembrerebbero imporre, ovvero diecimila miliardi di volte l’energia minima richiesta! Come mai? Occorre dire che i 10 W che abbiamo stimato per il funzionamento del computer sono solo in parte consumati per eseguire le operazioni di calcolo di cui si occupa il limite fisico di von Neumann



Il continuo miglioramento della performance dei computer comporta un incremento dell’energia richiesta

e Landauer. Una parte considerevole dell’energia viene infatti dissipata nella comunicazione tra i vari dispositivi elementari, ad esempio tra i transistor che realizzano le porte logiche. Poiché tale comunicazione viene realizzata mediante trasporto di carica elettrica (elettroni) attraverso conduttori con resistenza finita, una parte di energia è dissipata in calore per via del ben noto effetto Joule, responsabile ad esempio del riscaldamento delle lampade

Figura 3 - Quantità di energia richiesta per eseguire un'operazione logica elementare secondo la tecnologia disponibile al trascorrere degli anni. Per il periodo 2005-2010 si tratta di stime della Intel. Tratto da: Shekhar Borkar, *Electronics beyond nano-scale CMOS*, Proceedings of the 43rd annual Design Automation Conference, p. 807, San Francisco, CA, USA, 2006



Una ICT più efficiente e sostenibile è possibile, a patto di investire subito nella ricerca

dine ad incandescenza. Tuttavia, anche se potessimo fare a meno di questi meccanismi di comunicazione (e non possiamo), le performance degli attuali dispositivi basati sulla tecnologia CMOS sarebbero ancora molto lontane dal limite teorico, come si evince osservando il grafico in figura 3, estratto da un (ottimistico) articolo scientifico della Intel che è tra i maggiori produttori di ICT del pianeta. In questa figura viene presentata la quantità di energia necessaria per eseguire un'operazione elementare, senza prendere in considerazione eventuali dissipazioni dovute a cause di funzionamento accessorie, come la comunicazione tra dispositivi. Il grafico mostra che tale quantità è sistematicamente diminuita (con legge esponenziale!) negli ultimi cinquanta anni, passando dalla tecnologia dei tubi a valvola a quella degli attuali semiconduttori (NMOS, CMOS). Ora, anche ammettendo lo sviluppo piuttosto ottimistico previsto nella stima Intel del periodo attuale (il grafico è del 2006), si vede chiaramente che restano oltre cinque ordini di grandezza tra le attuali performance e il limite teorico. Poter colmare questo divario equivarrebbe a ridurre di

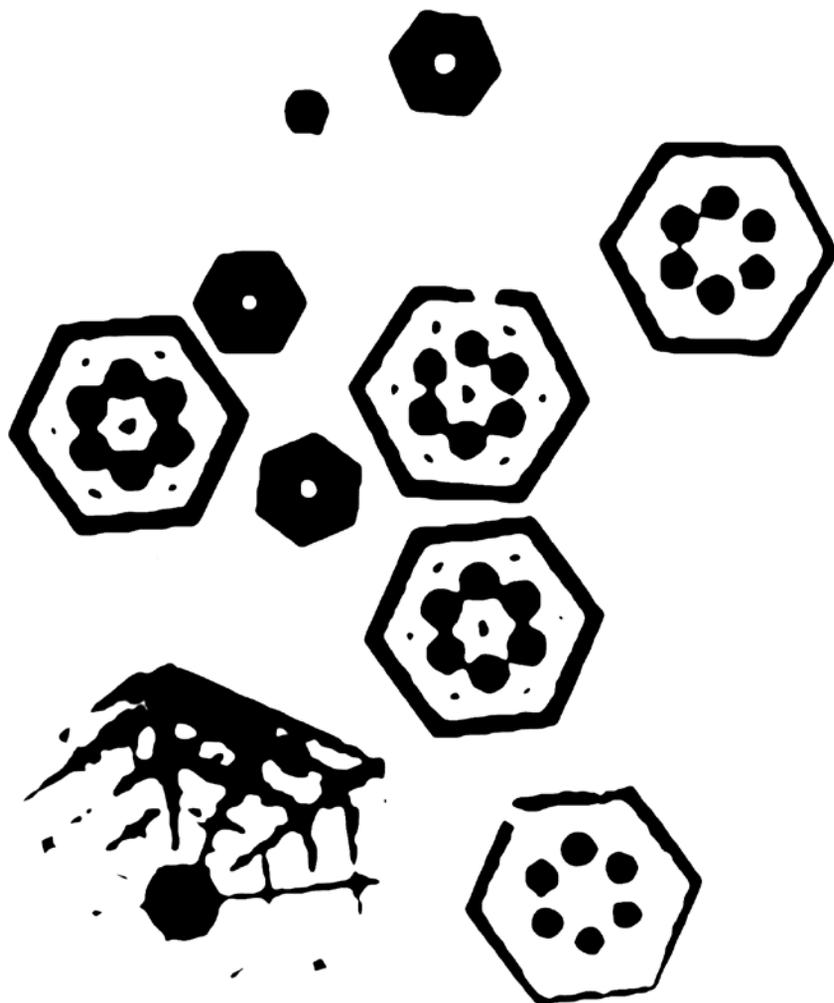
centomila volte il consumo di energia dovuto alle operazioni di calcolo, con ricaduta più che significativa sul consumo complessivo di energia.

I FONONI E LE FLUTTUAZIONI TERMICHE

Per raggiungere questo interessante obiettivo ci sono alcune importanti sfide scientifiche e tecnologiche da affrontare. Innanzitutto, occorre studiare i meccanismi di dissipazione connessi alla comunicazione tra dispositivo e dispositivo. È possibile immaginare dispositivi che non sfruttino il trasporto di carica elettrica come vettore di informazione? Oltre ai già considerati fotoni, quanti di energia della luce, c'è chi ha cominciato a studiare il potenziale ruolo dei "fononi", che costituiscono i corrispondenti quanti di energia delle onde elastiche e rappresentano una manifestazione dell'energia termica presente alle nano scale. In questa direzione sono stati avviati interessanti studi anche nel nostro laboratorio NiPS, presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Perugia, relativi al ruolo delle fluttuazioni casuali di origine termica. Ci si chiede se sia possibile immaginare dispositivi di calcolo capaci di sfruttare le fluttuazioni termiche sia come sorgente di energia che come vettore di trasporto delle informazioni. È, questa, una "tecnologia" già ampiamente sfruttata in natura dai sistemi biologici per manipolare informazione a livello di proteine e motori molecolari. Un altro settore di studio di grande interesse è quello relativo ai meccanismi di trasformazione dell'energia alle nano scale. Vale la pena chiedersi, ad esempio, se le leggi che connettono lavoro ed energia caratteristiche della termodinamica dei sistemi macroscopici siano applicabili anche in queste condizioni, dove le ridotte dimensioni e il basso numero di gradi di libertà rendono la meccanica statistica tradizionale inapplicabile. Infine, alle nano scale occorre tenere conto anche dei non trascurabili effetti quantistici a cui sono soggetti i dispositivi elementari una volta che le loro dimensioni raggiungono quelle dei nanometri. Questi effetti aprono scenari di grande interesse per le potenzialità che il "quantum computing" rappresenta sia in termini di potenza di calcolo che di efficienza energetica. "Un'economia più verde" è lo slogan che oggi si sente spesso ripetere, invocando con questo una volontà di orientamento delle scelte di politica economica capace di promuovere uno sviluppo reale del territorio, nel rispetto della eco-sostenibilità. Tutto ciò



non è impossibile, ma non avverrà senza scelte chiare e fattive di promozione della ricerca scientifica di base ed applicata. Una ICT più efficiente e più verde domani, quale patrimonio lasciato in eredità ai nostri figli, è possibile a patto di investire oggi in ricerca secondo una ben nota concatenazione causale di eventi: se si investe oggi in ricerca si avrà innovazione tra cinque anni e ricchezza tra dieci. Sono troppi dieci anni di attesa per la miopia tipica delle politiche locali e nazionali?



A SCUOLA DI MICROENERGIA

Il NiPS (Noise in Physical Systems) Laboratory del Dipartimento di Fisica dell'Università di Perugia organizza dal 1° al 6 agosto 2010 la prima scuola estiva completamente dedicata alle microenergie. Si tratta di un'iniziativa sostenuta dalla Commissione Europea nell'ambito del programma NANOPOWER, inserito nelle iniziative FET Proactive che valorizzano le linee di ricerca più ambiziose, visionarie e potenzialmente più fruttuose per il futuro dell'Europa. Le giornate di studio si terranno alla Tenuta dei Ciclamini ad Avigliano Umbro e sono rivolte ai dottorandi, post-docs e scienziati che vogliono approfondire la conoscenza delle basi scientifiche di quella che qualcuno descrive come la rivoluzione termodinamica del terzo millennio: lo sfruttamento delle fluttuazioni termiche che caratterizzano i sistemi fisici alle micro e nano scale. La conoscenza e la possibilità di gestire queste fluttuazioni potrebbero rappresentare per le nano macchine ciò che il vapore ha rappresentato per le enormi macchine del XIX secolo. Gli argomenti trattati nel corso delle giornate di studio riguardano lo studio di fenomeni fisici di base, così come le possibili implicazioni tecnologiche quali, ad esempio, la progettazione di micro e nano apparati per l'energy harvesting, lo sviluppo di nuove tecnologie energeticamente sostenibili per l'ICT e l'efficienza termoelettrica. Concluse le giornate di studio, dal 6 all'8 agosto si svolgeranno dei workshop nei quali studenti e invitati esterni potranno illustrare il risultato delle loro ricerche in questi settori. Tutte le informazioni relative alla scuola possono essere consultate nel sito del Laboratorio NiPS all'indirizzo: www.nipslab.org/summerschool.