

**Entropia, reti intelligenti, razionalizzazioni** - Intervento di Roberto VACCA al WORKSHOP RELOADER “*Il valore del recupero: i RAEE da fattore entropico a fattore di sostenibilità*”, Liceo Scientifico E. Majorana - Roma, 2 Aprile 2011

### **Ordine, disordine - entropia**

“Un posto per ogni cosa – ogni cosa al suo posto.”

Era un cartello campeggiante sulle pareti delle officine meccaniche bene organizzate. “Ordine”, “ordinare”, “razionalizzare” sono percepiti come termini positivi, mentre “disordine” ha una connotazione negativa. Queste implicazioni sono sensate se parliamo di cassette, magazzini, biblioteche – non lo sono in generale e non quando ci occupiamo di energia termica. In un magazzino di parti meccaniche è bene che tutti i bulloni con uno stesso diametro stiano nello stesso cassetto. Invece se la temperatura nei cilindri della mia auto fosse uguale alla temperatura dell’aria esterna, il veicolo non si muoverebbe. Certe disuniformità danno vantaggi.

Per capire il mondo e prendere decisioni giuste, è bene usare correttamente le parole e conoscere bene il significato delle più importanti. Taluno sostiene che “entropia” sia sinonimo di “disordine” e che sarebbe bene evitare ogni processo che fa crescere l’entropia – indicata come una minaccia.

In effetti in un ciclo termodinamico si definisce “entropia” la somma di tutte le quantità di calore scambiate, ciascuna divisa per la temperatura assoluta alla quale viene scambiata. A questo rapporto  $S = Q/T$  Rudolf Clausius diede il nome di entropia (che in greco vuol dire trasformazione). In un sistema chiuso (cioè che non è in rapporto con l'esterno) l'energia è costante, mentre l'entropia cresce sempre: i processi che si svolgono sono irreversibili e comportano perdite che diminuiscono i rendimenti.

Un motore termico ha scambi con l’esterno: viene alimentato con carburante. Nel ciclo di funzionamento, l’entropia cresce e viene prodotta energia utile (meccanica, elettrica). Il risultato ottenuto è positivo. Si tende a svolgere il processo in modo che le perdite siano le più basse e, quindi, i rendimenti i più alti possibili.

Sfruttare fonti di energia (combustibili, idriche, eoliche nucleari) porta, dunque, a far crescere l’entropia e, insieme, produce risultati desiderabili: processi industriali, funzioni meccaniche, trasporti. Non è un’attività dannosa, ma un fattore importante del nostro benessere.

Il concetto di entropia si usa anche in teoria dell'informazione. La formula (trovata da Shannon) definisce il contenuto informativo  $H$  di un messaggio costituito da sequenze di  $i$  simboli diversi. Le probabilità  $p_i$  di trovare in un messaggio ciascuno degli  $i$  simboli sono diverse e il contenuto informativo del messaggio è

$$S = - \sum_i p_i \cdot \log_2 (p_i)$$

La probabilità  $p_i$  corrisponde a un certo numero di eventualità. Il modo più semplice per misurare quante siano è determinare quante scelte del tipo SI/NO si

debbano fare per individuarne una. Ogni scelta di tipo SI/NO corrisponde a una cifra binaria o bit (che può valere 1 oppure 0). Il  $\log_2(p_i)$  è il numero di bit necessario a individuare una fra le eventualità considerate. Infatti è l'esponente da dare a 2 per ottenere  $p_i$ .

L'entropia è misura del disordine: se le molecole di un gas o le lettere che compongono un messaggio scritto sono disposte in modo disordinato - a caso - ogni gruppo di esse avrà le stesse caratteristiche. Dal gas (ovviamente considerato non combustibile) non si potrà produrre energia - e il messaggio non potrà contenere informazione. Qui, però, le cose si complicano: "informazione" non è sinonimo di "significato".

Il termine "entropia" viene usato spesso in modo metaforico da biologi, sociologi, economisti e ambientalisti. È meglio usarlo solo quando abbiamo abbastanza dati da poterne calcolare davvero il valore.

### **Reti intelligenti**

Nella gestione di macchine e di sistemi, oltre a distribuire oggetti fisici in modo ordinato e a dirottarli efficientemente, occorre mantenere certe variabili entro intervalli di tolleranza opportuni. Uno dei primi casi realizzati fu quello del regolatore automatico di velocità delle macchine a vapore realizzato da Watt. L'accesso del vapore veniva determinato dall'apertura di una valvola comandata dalla posizione di due masse in rotazione, che si alzavano o abbassavano in funzione della velocità, agendo su un quadrilatero articolato. Regolazioni e controlli automatici hanno raggiunto precisioni, velocità e sofisticazioni notevoli mediante circuiti elettronici e, poi, circuiti computerizzati. Questi applicano criteri complessi in funzione delle misure di numerosi parametri di funzionamento. Si parla, quindi, di controlli intelligenti (*smart*) e si mira a realizzare reti atte a reagire in modo automatico a mutate situazioni ambientali e alle variazioni della domanda, massimizzando i valori di certi parametri.

Nel caso delle reti di distribuzione dell'energia elettrica, un problema critico è quello di appiattire la curva di domanda di potenza onde evitare di aumentare la potenza installata nelle centrali di produzione.

In Italia nel 2011 la potenza massima dei generatori elettrici installati è di circa 110 GW (da gas 65%, carbone 15%, petrolio 7%, idroelettrico più geotermico 13%). La potenza richiesta in rete in primavera tipicamente fra l'1 alle 5 del mattino è intorno a 30 GW; dalle 8 alle 20 nei giorni feriali oscilla fra 44 e 50 GW. In inverno e in estate (quando sono in funzione i condizionatori), si avvicina al massimo. In generale il valore di picco giornaliero è di oltre il 50% maggiore del minimo notturno.

Per rendere meno variabili i consumi, occorrerebbe motivare gli utenti applicando tariffe basse non a orari fissi, ma quando la domanda è scarsa. Se dalla produzione (TERNA) conoscono il prezzo corrente e quello prevedibile a breve termine, i grandi utenti industriali possono usare programmatori che concentrino i consumi più forti quando la tariffa è più bassa. Se si verificano variazioni impreviste e considerevoli, i fornitori di energia potranno inviare messaggi agli utenti maggiori. Questi affideranno a controllori umani la gestione ottimizzata dei consumi. I nuovi contatori dotati di funzioni telematiche

dovrebbero informare anche utenti piccoli e domestici sulla tariffa variabile in modo che si regolino.

Altri interventi utili sono costituiti dalla eliminazione degli sprechi (isolamento termico, recupero di calore dagli scarichi), co-generazione, produzione distribuita (eolico, solare termico), integrazione di tutte queste misure fra loro.

C'è da fare molto di più a monte sui consumi energetici. Basta pensare ai trasporti: 35 milioni di auto di cui quasi il 90% sta fermo in una città, riducono la superficie stradale a disposizione dei veicoli in moto. In conseguenza le velocità si riducono e i consumi unitari crescono. Poi le temperature degli ambienti abitati sono tenute alte in inverno e basse in estate (con consumi elettrici maggiori che in inverno). Sarebbe intelligente usare pompe di calore (sia in inverno, sia in estate), ma sono ancora poco diffuse. I cinesi resistono agli inverni pechinesi coi giacconi di cotone e ovatta imbottita.

Di cose da fare in modo più ragionevole ce ne sono tante, ma è la gente che non è abbastanza smart.

### **Razionalizzazioni**

I sistemi tecnologici producono impatti l'uno sull'altro. La instabilità e il blocco di un sistema (ad esempio le reti telematiche o energetiche) possono produrre a cascata blocchi di altri sistemi. La tecnologia ha progredito molto, ma non sempre in direzioni positive. L'integrazione fra sistemi è ancora scarsa. Lo scenario tecnologico, produttivo, sociale ed economico è diverso soprattutto perchè la ricchezza nei Paesi più avanzati è prodotta meno dall'industria e più dai servizi e dalla elaborazione di conoscenza. Quest'ultimo settore potrebbe far crescere i rendimenti di ogni altra branca di attività, se la conoscenza prodotta ed elaborata fosse di alta qualità. Spesso, invece, è superficiale e fuorviante. Non fa crescere i rendimenti: produce, anzi, risultati controproducenti. Ad esempio: non si possono ottimizzare la mobilità e il controllo dei flussi di traffico in una città, se prima non si minimizzano le interferenze tra i vari gruppi di utenti. Ciò si può ottenere riprogettando l'uso del territorio, ridisegnando la geometria urbana ed eliminando unità antiquate e non funzionali (a Roma centro ci sono circa 100 ettari occupati inutilmente da vecchie strutture demaniali e militari).

Inoltre più di 30 anni fa i sistemi di controllo incorporavano apparati fisici. Ciascuno poteva essere portato in laboratorio e tarato. Poi si poteva essere sicuri che si comportasse come doveva. Oggi i segnali generati da sensori e apparecchi di misura vanno a un computer il cui software elabora i dati entranti e decide quali siano le azioni di regolazione da realizzare seguendo le prescrizioni di un programma scritto anni prima da qualcuno (talora deceduto o irreperibile) e non trasparenti all'operatore addetto a controllare il sistema. Quindi gli addetti a controllo e gestione di sistemi complessi si affidano a controlli che dovrebbero anche reagire a situazioni mai verificatesi prima. Mentre la complessità delle reti cresce, diminuisce la probabilità che i vecchi programmi funzionino bene. Eseguire verifiche è arduo e prende tempi lunghi. Frattanto crescono i rischi di malfunzionamento dei sistemi e, forse, del loro blocco.

La mobilità, invece, può trarre vantaggi notevoli dalla integrazione con le reti di comunicazione. La congestione del traffico privato e pubblico di superficie è oggi largamente imprevedibile. Dovrebbe essere monitorata in tempo reale e le informazioni relative diffuse via radio, via Internet e TV su canali dedicati invece che a intervalli di tempo di decine di minuti o di ore. Questo permette agli utenti di compiere scelte ottimizzate, ad esempio a favore della metro che è quasi scevra da congestione.

Le grandi infrastrutture che assicurano mobilità, forniture di energia e acqua, comunicazioni corrono rischi dovuti a guasti, malfunzionamenti, inadeguatezze di progetto atte a manifestarsi soltanto in occasione di situazioni poco probabili e di cumuli di circostanze avverse, influenze a cascata di emergenze in sistemi adiacenti. È in fase di progetto che queste evenienze vanno previste onde assicurare la resilienza e la scarsa vulnerabilità delle infrastrutture e il recupero delle loro funzionalità menomate da eventi negativi.

La rilevazione e la disseminazione in tempo reale dei dati monitorati su ogni attività umana in ambito urbano potranno permettere di implementare scelte razionali. Esse sono prerequisito a realizzare città intelligenti.-