

Lezione Dottorale:
Sulla Natura della Computazione e della Computazione in Natura

in occasione del conferimento della Laurea Honoris Causa
in Informatica al Prof. Grzegorz Rozenberg

Sono molto onorato di ricevere la laurea ad honorem da una Università così famosa come quella di Bologna.

Vorrei cogliere questa occasione per riflettere sullo sviluppo storico delle Scienze della Computazione e della Computazione Naturale (ovvero la computazione ispirata dalla Natura). La classica nozione di computazione è fermamente basata sulla nozione di algoritmo che, informalmente parlando, è un insieme di regole atte ad eseguire un compito determinato. Il problema di formalizzare la nozione di algoritmo, così da essere "meccanizzato", si può far risalire almeno al lavoro di Gottfried W. Leibnitz. Leibnitz (1646-1716), infatti, voleva formalizzare il ragionamento umano così da poterlo descrivere come una collezione di regole che possono essere eseguite meccanicamente.

Così Leibnitz motivava la sua passionale ricerca: "È indegno per l'uomo eccellente perder tempo come uno schiavo nel lavoro di calcolare, cosa che potrebbe essere relegata senza problemi a qualcun'altro se fosse usata una macchina calcolatrice". La motivazione di Leibnitz era basata sull'"idea negativa" che il fare calcoli fosse uno spreco di tempo. Questa idea tuttavia può essere rivalutata in una motivazione positiva, cioè quella della necessità di capire quali processi mentali possono essere formalizzati così da poter essere meccanizzati - un punto di vista molto vicino al modo di pensare nel mondo dell'informatica di oggi.

La ricerca sul comprendere la nozione di algoritmo è stata portata avanti da molti scienziati illustri, ed è culminata nei lavori di Kurt Gödel, Alonzo Church, Alan Turing and Emil Post intorno al periodo 1930-1940.

La formalizzazione della nozione di algoritmo fornita da questi quattro giganti, e specialmente il lavoro di Alan Turing, ha portato alla costruzione dei primi computers ed all'inizio della scienza dei calcolatori. Nella formalizzazione della nozione di algoritmo, Turing si è concentrato su come una persona esegue dei calcoli seguendo un insieme di regole, quindi seguendo un dato algoritmo. Questo significa che gli inizi della scienza dei calcolatori trovano le proprie radici nelle computazioni progettate per l'uomo.

Lo scopo e l'importanza della scienza dei calcolatori sono cresciute enormemente rispetto ai suoi inizi. In effetti, il progresso spettacolare nella Tecnologia dell'Informazione e della Comunicazione (ICT) è largamente supportato dall'evoluzione della scienza dei calcolatori che disegna e sviluppa gli strumenti necessari per esso: calcolatori, reti di calcolatori, metodologie per lo sviluppo dei programmi, ecc. Poiché ICT ha un grande impatto nella nostra vita di ogni giorno, così lo ha anche la scienza dei calcolatori.

Tuttavia, la scienza dei calcolatori è molto più che ICT: è la scienza dell'informazione, e come tale è una scienza fondamentale per tante altre discipline scientifiche. Infatti, l'unico denominatore comune della ricerca fatta oggi in tutte le così diverse aree della scienza dei calcolatori è l'elaborazione dell'informazione nei suoi vari aspetti. Per questo, il termine spesso usato (specialmente in Europa) "Informatica", è migliore di "Scienza dei Calcolatori". Quest'ultimo

stipula che uno strumento specifico, il calcolatore, sia l'argomento centrale della nostra disciplina. D'altra parte, uno degli sviluppi più importanti dell'ultimo secolo per molte altre discipline scientifiche è stata l'adozione dell'informazione e dell'elaborazione dell'informazione come nozioni e modi centrali di pensiero -- biologia e fisica sono dei bellissimi esempi a questo riguardo. Per queste discipline scientifiche, l'informatica fornisce non solo gli strumenti, ma anche un modo di pensare.

Io sono convinto che una delle grandi sfide dell'informatica è il capire il mondo intorno a noi in termini di elaborazione dell'informazione. Ogni passo compiuto verso questa meta è un successo per il mondo intorno a noi ed anche per l'informatica. Poiché la natura è parte dominante del mondo intorno a noi, un modo per cercare di capire questo mondo in termini di elaborazione dell'informazione, è di studiare le computazioni che avvengono in natura. La Computazione Naturale si occupa di questo tipo di computazione e dei suoi benefici per l'informatica. La ricerca nel campo della computazione naturale è genuinamente interdisciplinare, e quindi la computazione naturale forma un ponte tra l'informatica e le scienze naturali. Essa ha già contribuito enormemente alla computazione progettata dall'uomo attraverso l'uso di paradigmi, principi e meccanismi che sono tipici dei sistemi naturali. Alcune discipline di questo tipo di computazione sono relativamente vecchie (nella breve storia dell'informatica) e sono oramai ben consolidate. Alcuni esempi famosi di tali discipline sono le computazioni evolutive e quelle neuronali. Algoritmi evolutivi sono basati sui concetti di mutazione, ricombinazione e selezione naturale originari della teoria della evoluzione, mentre le reti neuronali sono basate su concetti che hanno origine nello studio delle connessioni neuronali nel cervello e nel sistema nervoso. D'altra parte, le computazioni molecolari e quelle quantistiche sono le più giovani discipline nel campo della computazione naturale: le computazioni molecolari sono basate su paradigmi tipici della biologia molecolare, mentre le computazioni quantistiche sono basate sulla fisica quantistica e sfruttano il parallelismo quantistico. Le computazioni progettate dall'uomo ed ispirate dalla natura includono anche altri tipi di sottodiscipline e paradigmi.

Quindi la ricerca nella computazione naturale ha già avuto un grande impatto nello sviluppo dell'informatica, ed in particolare ha contribuito alla nostra comprensione della natura della computazione. Poiché questo è il compito principale dell'informatica teorica, è importante sottolineare che l'interazione tra l'informatica teorica e le scienze naturali risale proprio all'inizio dell'informatica e ha sempre continuato ad esistere. Ecco alcuni esempi di questa interazione.

Alcuni dei più importanti risultati fondamentali nel campo della teoria degli automi sono stati ispirati dal lavoro di W.S. McCulloch e W. Pitts che hanno considerato neuroni come trasmettitori binari di informazione. La teoria dei sistemi L, iniziata da A. Lindenmayer, è stata motivata da modelli per lo sviluppo di organismi semplici, ed ha avuto un impatto fondamentale sia nella teoria dei linguaggi formali che nel modo di modellare le piante. Le scoperte intorno al DNA che negli ultimi 50 anni hanno avuto un impatto straordinario nella biologia ma anche in molte altre scienze (così come nella vita di ogni giorno), hanno anche avuto un'enorme influenza sull'informatica teorica. Per esempio, il successo travolgente nel determinare l'ordine dei genomi umani, animali o vegetali, è stato in gran parte dovuto allo sviluppo di algoritmi per determinare il combaciamento di schemi (pattern matching) e per l'elaborazione di stringhe. L'intera area di progettazione ed analisi di algoritmi per pattern matching ha beneficiato enormemente dell'intensa ricerca nel campo del sequenziamento dei genomi.

Come è ormai chiaro, l'interdisciplinarietà è la caratteristica principale della ricerca nel campo della computazione naturale, ed è un importante ingrediente per l'evoluzione di tutti i campi dell'informatica.

Io stesso mi considero uno scienziato interdisciplinare. A dare sostegno a questa mia classificazione sono la mia istruzione e la mia attività di ricerca. Ho un diploma da Ingegnere Elettronico, un master in Informatica, ed un dottorato in Matematica. Dopo di che, per oltre 30 anni, una gran parte della mia attività di ricerca ha avuto a che fare con la comprensione dei principi biologici dell'elaborazione dell'informazione. Una considerevole parte di questa attività ha coinvolto una cooperazione intensa con biologi. Per questo motivo vorrei spendere qualche parola sulla ricerca interdisciplinare e sulla ricerca in computazione naturale in particolare. Poiché la mia ricerca interdisciplinare coinvolge l'informatica teorica da una parte e biologia dall'altra, le mie riflessioni hanno a che fare con questa specifica interazione.

La ricerca di modelli formali per fenomeni biologici richiede di realizzare a priori che il valore o l'utilità del modello ottenuto può essere piuttosto temporaneo. Nel migliore dei casi, un modello formale riflette la conoscenza biologica al tempo della sua formulazione. Ma la conoscenza biologica è molto dinamica, nuovi fatti vengono scoperti in ogni momento -- alcune di queste scoperte possono cambiare, a volte anche drammaticamente, la nostra concezione della natura e di come funzionano certi fenomeni biologici. Se queste scoperte hanno a che fare con un fenomeno che abbiamo modellato, allora il modello dovrà essere adattato, cambiato o persino rigettato. Per questo uno dovrebbe cercare, quando possibile, che il modello formale sia anche duraturo ed interessante dal punto di vista formale. In questo modo, durante il percorso, spesso lungo, di creare, adattare e modificare un modello formale, uno può ottenere un contributo duraturo per l'informatica teorica.

Un'altro consiglio basato sulla mia esperienza è che la formulazione del modello dovrebbe cominciare con la comprensione della natura biologica del problema, per poi continuare con una valutazione molto critica degli strumenti che abbiamo a disposizione (come specialisti nel campo dell'informatica teorica). Molto spesso una tale valutazione porterà alla conclusione che c'è bisogno di formulare un modello completamente nuovo, e dopo sviluppare strumenti per il suo studio quando ce n'è bisogno. Questo è un modo di procedere decisamente preferibile ad uno che limita (e spesso distorce) la conoscenza biologica in modo tale da poter applicare i propri strumenti!!

Infine, quando si sviluppa un modello formale non ci si dovrebbe dimenticare che un modello consiste di due parti: (1) un linguaggio matematico formale e (2) una sua interpretazione nel dominio che si vuole modellare. La seconda parte viene troppo spesso dimenticata, mentre essa è cruciale nella scelta di un "buon modello": tra tutti i modelli che sono equivalenti (in qualche senso formale) i soli modelli rilevanti sono quelli con una buona interpretabilità.

La computazione naturale è un'area di ricerca dinamica che cresce velocemente. Quando io ho introdotto questo nome più di 25 anni fa, era considerata come qualcosa da fantascienza, ma oggi è molto popolare e fiorente. Ci sono istituti universitari, giornali, libri, conferenze, cattedre, ... sulla computazione naturale.

Io stesso sono specialmente affascinato dalle Computazioni Molecolari, un buon esempio di un'area di ricerca che si sta evolvendo in modo molto interessante. Essa è cominciata come DNA Computing, con lo scopo iniziale di creare una tecnologia computazionale in grado di competere con le attuali tecnologie al silicio per computers. Tuttavia si è evoluta in una scienza di

programmazione molecolare con problemi di questo tipo: "Come progettare un insieme di molecole iniziali così che un certo tipo di molecola complessa verrà prodotta". In questo modo una gran parte della ricerca su programmazione molecolare è diventata una parte delle scienze e delle ingegneria del mondo nanoscopico, dove, per esempio, uno considera lo stesso tipo di problemi per progetti umani di auto-assemblaggio. La combinazione della scienza ed ingegneria nanoscopica con la computazione nanoscopica è certamente uno sviluppo eccitante che avrà un impatto enorme sulle scienze e tecnologie della computazione.

Adesso, se ritorniamo a quella parte di computazione naturale che studia le computazioni che avvengono in Natura, allora la domanda principale rimane "Come calcola la Natura". Per rispondere a questa domanda dobbiamo considerare e studiare i vari processi che avvengono in Natura come processi computazionali. Ma che cosa significa "computazionale" in questo contesto? Dobbiamo ridefinire la nozione di computazione così che essa comprenda anche l'elaborazione dell'informazione come avviene in natura. Questa è un'avventura eccitante che è appena iniziata e che non ho dubbi ci porterà ad una nuova scienza della computazione, la quale ci darà una conoscenza maggiore e più profonda di che cosa è la "computazione".

Vorrei concludere ritornando all'informatica in tutti i suoi aspetti. L'attrazione e la bellezza dell'informatica come scienza è che mentre l'informatica è una scienza fondamentale per molte discipline scientifiche, essa è anche la forza principale dietro lo sviluppo dell'ICT, attraverso cui essa influenza e rivoluziona la nostra vita di ogni giorno. La computazione naturale è un veicolo importante per il progresso di entrambi questi aspetti dell'informatica. Dobbiamo diffondere e sviluppare la scienza dell'informatica, e presentarla al "mondo esterno" usando proprio questo schema. Entrambe l'informatica, nella mia visione di cui sopra, e la computazione naturale hanno un grande futuro!!!