

## Ottimizzazione per imitazione: dal calcolo evolutivo al calcolo quantistico

G. Martinelli, M. Panella, A. Rizzi  
Dipartimento INFOCOM  
Università di Roma “La Sapienza”  
Via Eudossiana 18, 00184 Roma

La ricerca iniziata recentemente sul ‘quantum processing’ è stata indirizzata verso due tematiche:

- l’esistenza di un’analogia tra le procedure per l’ottimizzazione, basate sull’imitazione di fenomeni naturali sia fisici sia biologici, e quelle che possono essere sviluppate sulla base della teoria quantistica. La differenza tra i due casi sta nel livello dei fenomeni presi in considerazione e cioè un livello macroscopico nel primo caso ed un livello microscopico nel secondo caso. In ambedue i casi si imita la natura con lo scopo di avvantaggiarsene per il raggiungimento di procedure efficaci di ottimizzazione.
- sviluppo di procedure di ottimizzazione basate sulle proprietà più caratteristiche del livello microscopico. Le suddette procedure si diversificano in base all’applicazione presa in considerazione.

La prima tematica è stata approfondita mettendo in evidenza la possibilità di sviluppare un procedimento di ottimizzazione capace d’individuare la soluzione ottimale di un problema in modo esaustivo. Risultati parziali nell’ambito di questa tematica sono stati riportati in [1]. La possibilità di effettuare una ricerca esaustiva è basata sulle proprietà tipiche della realtà microscopica e cioè:

- sovrapposizione delle soluzioni, ovvero tutte le soluzioni del problema esistono simultaneamente anche se in un numero enorme;
- ‘entanglement’, cioè la possibilità di marcare nella sovrapposizione quelle ottimali con una semplice trasformazione di una opportuna funzione booleana nel dominio quantistico;
- operatori quantistici lineari e non lineari, i quali permettono di estrarre la soluzione ottimale dalla sovrapposizione. In particolare, nel caso degli operatori non lineari tale estrazione può avvenire con un costo computazionale molto ridotto e tale da poter giustificare procedure esaustive anche nel caso di problemi di difficile soluzione.

Per quanto riguarda la seconda tematica, i problemi considerati hanno riguardato l’intelligenza artificiale e cioè le reti neurofuzzy, le reti neurali e le memorie associative. In tutti i casi la procedura da seguire è stata quella di rappresentare l’oggetto d’interesse con una stringa di bit. Tale stringa riportata nel dominio quantistico diviene una stringa di qubit ed è in grado di rappresentare simultaneamente tutte le versioni possibili dell’oggetto d’interesse. Tale sovrapposizione non può essere utilizzata direttamente in quanto i qubit possono essere conosciuti solo attraverso misurazione. Inconvenienti relativi a questa operazione sono:

- risultato stocastico della misura, nel senso che non si può stabilire a priori quale componente della sovrapposizione si ottiene con la misura. Nella sovrapposizione ciascuna componente è associata ad un coefficiente che ne caratterizza la probabilità con cui può essere estratto. La componente estratta dipende dal suddetto coefficiente e dal meccanismo di misura. Perciò dalla misura è possibile ottenere un risultato efficace solo se il coefficiente associato alla soluzione ottimale è molto elevato.

- dopo la misurazione, la sovrapposizione è distrutta.
- non è possibile ottenere copie di una sovrapposizione.

Relativamente ai 3 argomenti di intelligenza artificiale precedenti sono stati ottenuti vari risultati che sono stati oggetto dei seguenti contributi:

- Reti neurofuzzy: è stato necessario sagomare opportunamente le regole per renderle adatte all'uso degli algoritmi quantistici. Un contributo originale riguarda il modo di considerare la funzione appartenenza nell'ambito di regole del tipo di Sugeno. L'applicazione riguardante il problema della classificazione è riportata in [2], mentre il caso dell'approssimazione funzionale è stato sviluppato in [3].
- Reti neurali: è stato sviluppato un algoritmo per trasformare la rete del tipo perceptron multistrato in una sequenza di qubit e per associare ad essa la propria prestazione tramite un opportuno qubit 'entangled', ottenuto mediante un gate lineare. Il risultato ottenuto ha formato l'oggetto del contributo proposto in [4].
- Memorie associative: le memorie associative quantistiche hanno potenzialmente una capacità esponenziale nel numero di prototipi immagazzinabili. E' attualmente in via di sviluppo un algoritmo di richiamo che si basa sulla minimizzazione tramite un algoritmo di tipo quantistico della distanza di Hamming tra lo stimolo e l'item memorizzato più vicino [5].

## Riferimenti

1. G. Martinelli e M. Panella, "From evolutionary to quantum computing", sottomesso per la pubblicazione all'*IEEE Computational Intelligence Magazine*.
2. M. Panella e G. Martinelli, "Binary neurofuzzy classifiers trained by nonlinear quantum circuits", in 'Applications of fuzzy sets theory', F. Masulli, S. Mitra e G. Pasi Eds., pp. 237-244, Springer, Luglio 2007.
3. M. Panella e G. Martinelli, "Neurofuzzy networks with nonlinear quantum learning", in fase di revisione su *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*.
4. M. Panella e G. Martinelli, "Neural networks with quantum architecture and learning", sottomesso per la pubblicazione all'*International Journal of Circuit Theory and Applications*.
5. A. Rizzi e G. Martinelli, "Quantum associative memories with nonlinear quantum search", sottomesso per la pubblicazione *Neural Processing Letters*.