

# Premi AI\*IA 2003

Riassunto Tesi di Laurea.

---

**Titolo:** *Conoscenza euristica: tecniche simboliche e subsimboliche. Applicazione al puzzle di Sam Loyd.*

**Autore:** Marco Ernandes

**Relatore:** Prof. Marco Gori

---

## Keywords

*Apprendimento automatico, euristiche, problem solving, reti neurali, teoria dei giochi.*

## Introduzione

Recenti ricerche nel settore del problem solving hanno condotto all'introduzione delle euristiche "database" [Culberson e Schaeffer, 1998], che hanno permesso di incrementare notevolmente il potere informativo in puzzle celebri, quali il gioco del quindici di Sam Loyd e il Cubo di Rubik, e di ridurre al minimo il calcolo online della funzione euristica. Tuttavia, questo approccio soffre del problema del consumo della memoria. E' stato congetturato [Korf, 1997] e verificato sperimentalmente [Hernádvölgyi e Holte, 1999] che, al crescere delle dimensioni del problema, mantenere inalterato il contributo informativo di un'euristica richiede uno spazio di memoria più che lineare rispetto allo spazio degli stati del problema. Il fatto che il numero di stati abbia una crescita di natura esponenziale rende chiaro che l'approccio basato su euristiche database non è molto utile all'aumentare della complessità di un problema.

## Ipotesi di lavoro e contributo della tesi

In questa tesi di laurea si è introdotto un sistema di risoluzione di problemi basato su euristiche che, pur mantenendo alto potere informativo, non producono significative limitazioni di spazio (come le euristiche database) e allo stesso tempo garantiscono il raggiungimento di soluzioni ottimali, almeno in un framework probabilistico.

Per raggiungere questo scopo ci si è mossi in due direzioni:

- introduzione di euristiche basate sull'integrazione di tecniche simboliche e subsimboliche
- rilassamento del concetto di ottimalità della ricerca in senso statistico.

## Euristiche neurali ed euristiche ibride

Il punto di partenza di questo lavoro consiste nell'assumere che la formulazione di euristiche per il problem solving è spesso un compito molto difficile e che pertanto è interessante esplorarne l'apprendimento da esempi. In particolare, sono state utilizzate reti neurali multistrato che, prendendo in ingresso un'opportuna codifica dello stato del problema - ad esempio una configurazione del gioco di Sam Loyd - producono in uscita una stima della distanza dall'obiettivo. Un contributo preliminare in questa linea di ricerca è in [Pollastri, 1997], dove però non viene studiato il cruciale problema dell'ammissibilità delle euristiche. Tale problema è stato affrontato in modo generale, assieme a formulazioni dell'apprendimento adatte alla particolare natura delle euristiche per il problem solving. I contributi del lavoro si possono riassumere come segue:

- introduzione di un errore asimmetrico nell'algoritmo di backpropagation, concepito per forzare sottostime della funzione approssimata
- introduzione di una nuova nozione euristica ammissibile, che permette la sovrastima della distanza. Tale nozione ha diretta applicazione nel problema di Sam Loyd studiato in particolare nella tesi.
- studio sulle proprietà degli insiemi di addestramento delle reti neurali e delle codifiche dell'ingresso
- introduzione di tecniche per il perfezionamento "a posteriori" delle stime neurali. Tali tecniche sfruttano, ad esempio, la natura delle stime neurali basate su numeri reali.
- integrazione tra euristiche simboliche e neurali.

I risultati sperimentali danno prova di un significativo incremento di prestazioni rispetto a quelli proposti in [Pollastri,1997]. L'approccio proposto conduce a soluzioni ottimali del gioco del 15 con prestazioni comparabili alle pattern database [Korf, 2002]. Rispetto all'euristica di Manhattan si ha una riduzione di costo computazionale tipicamente di 3-4 ordini di grandezza. Ovviamente, il limite dell'approccio proposto è che non è possibile offrire sempre la garanzia di ottenere soluzioni ottime, dato che i valori prodotti dalle reti neurali possono sovrastimare la distanza dall'obiettivo. Tuttavia, le soluzioni sopra descritte permettono di conseguire soluzioni ottime negli esperimenti citati per il gioco del 15 almeno nel 50% dei casi.

### Ricerca $p$ -admissible

Trovare soluzioni ottime per molti problemi combinatoriali, quali il puzzle di Sam Loyd è, intrattabile. In letteratura sono proposti schemi per rilassare l'ottimalità, quali ad esempio quello di Pearl [Pearl, 1984], in cui si richiede al problem solver di ritornare soluzioni con costo di cammino che sia al massimo proporzionale rispetto a quello ottimo. E' stato dimostrato [Ratner e Warmuth, 1990] che, così facendo, si ottiene un problema di complessità polinomiale. In questo lavoro si propone uno schema diverso in cui si sposta l'interesse verso la determinazione di soluzioni ottime, almeno in una certa percentuale dei casi. L'obiettivo è quello di ottenere problem solvers capaci di garantire a priori soluzioni ottime con una probabilità  $p$  assegnata<sup>1</sup>. Le reti neurali sono "approssimatori universali" e per questo particolarmente adatte a ricoprire il ruolo di euristiche  $p$ -admissible. Si è infine introdotto un framework statistico per governare la generazione automatica di euristiche  $p$ -admissible, con  $p$  stabilito a priori, grazie all'uso parallelo di più reti neurali. Questa idea è risultata molto efficace in pratica. Tuttavia le reti neurali generate, sebbene ottenute da pesi iniziali diversi, non risultano statisticamente indipendenti e la loro correlazione non conduce all'incremento di prestazioni stimato nella tesi considerando euristiche indipendenti.

### Contributi collaterali

Nell'analisi delle euristiche simboliche legate al puzzle di Sam Loyd vengono presentate alcune tecniche correttive dell'euristica di Manhattan che, assieme a quelle già descritte in letteratura

---

<sup>1</sup>Lo schema presenta interessanti analogie con il PAC learning.

[Hansson, Mayer e Yung, 1992], vanno ad integrare altre euristiche memory-based presenti per questo problema. Il complesso di correzioni, denominato *Conflict Deduction*, migliora le prestazioni della tecnica di Manhattan, sul gioco del 15, di quasi 30 volte in termini di tempo e 70 volte in termini di volume della ricerca. Alcuni risultati interessanti sono emersi anche dall'analisi approfondita delle proprietà del puzzle. Nella tesi vengono proposti studi che descrivono le capacità espressive dell'euristica di Manhattan (diametro e baricentro delle stime) e congetture per stimare la profondità (media e massima) delle soluzioni ottime nei  $(n^2-1)$ -puzzle.