

---

# BOLLETTINO

# UNIONE MATEMATICA ITALIANA

*Sezione A – La Matematica nella Società e nella Cultura*

---

PAOLO CIANCARINI

## Gli Scacchi e i Matematici

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 2-A—La Matematica nella Società e nella Cultura* (1999), n.2, p. 203–236.

Unione Matematica Italiana

[http://www.bdim.eu/item?id=BUMI\\_1999\\_8\\_2A\\_2\\_203\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1999_8_2A_2_203_0)

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*  
SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>



## Gli Scacchi e i Matematici.

PAOLO CIANCARINI

### 1. – Introduzione.

Il matematico inglese G. Hardy, nella sua *Apologia di un Matematico*, scrisse: «Un problema di Scacchi è matematica autentica» [Hardy 1940]. È facile dimostrare che gli Scacchi sono tra i giochi che hanno più affascinato i matematici; simmetricamente, di tutte le scienze è la Matematica quella più legata agli Scacchi, e molti sono gli scacchisti che hanno praticato a livello professionale la ricerca matematica. La relazione tra Scacchi e Matematica filtra persino in un recente e bel romanzo di A. Doxiadis, «Zio Petros e la congettura di Goldbach» [Doxiadis 2000]. Il protagonista è proprio un brillante matematico (nella finzione romanzesca collaboratore di Hardy), che gioca a scacchi ad alto livello per distrarsi dalle fatiche delle sue ricerche. In effetti, alcuni matematici di professione hanno lasciato il segno nella storia del gioco, trovando grande fama come giocatori più che come scienziati. Per esempio, il tedesco Emmanuel Lasker, che fu il secondo Campione del Mondo di Scacchi, dal 1894 al 1921, nel 1902 difese la sua tesi di dottorato in Matematica presso l'Università di Erlangen sotto la supervisione di Max Noether (il padre di Emmy Noether) [Lasker 1905]. L'olandese Max Euwe, che fu il quinto campione del mondo, dal 1935 al 1937, era professore di matematica e direttore di un istituto di elettronica.

Questo articolo vuole raccontare in breve come parecchi matematici abbiano usato la scacchiera non solo per giocare, ma come mondo matematico degno delle loro ricerche. Non c'è dubbio che il campo in cui l'intreccio tra Matematica e Scacchi è stato più fertile è quello informatico: Domenica 11 maggio 1997 è una data che gli storici della scienza dovranno segnare con un sassolino bianco. Quel giorno si è realizzato a New York un sogno molto antico: una mac-

china, chiamata Deep Blue, costruita nei laboratori IBM di Yorktown, ha battuto in una serie di sei partite il campione del mondo di Scacchi, il russo Gari Kasparov. Per la precisione l'incontro, organizzato sotto gli auspici dell'Association for Computing Machinery (ACM) e della International Computer Chess Association (ICCA), si è concluso col punteggio di due vittorie per il computer, una vittoria per l'umano, e tre patte. L'evento è stato seguito e commentato in diretta da migliaia di persone connesse a Internet [McGrew 1997]. Tale impresa va considerata come uno dei grandi successi scientifici di questo secolo, cui hanno contribuito direttamente ed in varia misura sin dagli anni '40 parecchi brillanti studiosi, come Alan Turing (padre dell'Informatica moderna), Claude Shannon (padre della Teoria dell'Informazione), Herbert Simon (pioniere dell'intelligenza artificiale e premio Nobel per l'Economia), John McCarthy (pioniere dell'intelligenza artificiale e padre del linguaggio LISP) e Ken Thompson (padre di UNIX), solo per citarne alcuni.

Quali sono le ragioni che hanno portato la comunità scientifica a studiare teorie e sviluppare tecnologie per costruire macchine capaci di giocare? La capacità di giocare giochi come gli Scacchi o il Go è stata per lungo tempo vista come qualità distintiva dell'intelligenza umana. Gli Scacchi, in particolare, sono stati spesso esaltati come campo di espressione ludica, o addirittura «artistica», di abilità superiori creative e logico-deduttive. È comprensibile, quindi, che i media ed il grosso pubblico tendano a guardare al successo delle macchine che giocano come misura del progresso della scienza e della tecnologia.

Tutti abbiamo potuto constatare l'impatto pubblicitario ed il ritorno di immagine che ha ricevuto la IBM dal suo investimento nel progetto Deep Blue. La giustificazione di tali sforzi venne espressa quasi 40 anni fa in un articolo di Newell, Simon, e Shaw:

*«Gli Scacchi sono il gioco intellettuale per eccellenza. Senza far uso di strumenti casuali (come i dadi o la roulette), che inquinerebbero la contesa, due intelletti vengono contrapposti in una situazione così complessa che nessuno dei due può sperare di comprenderla completamente, ma sufficientemente analizzabile di modo che ciascuno dei due può sperare di*

*sconfiggere l'altro. Il gioco è tanto profondo e sottile che ha permesso la nascita di giocatori professionisti, ed ha sopportato senza esaurirsi 200 anni di partite e di studi analitici intensivi. Tali caratteristiche rendono gli Scacchi un'arena naturale per i tentativi di meccanizzazione. Se si potesse sviluppare un giocatore artificiale vincente, si potrebbe affermare di aver penetrato il nucleo dell'attività intellettuale umana.»*

La causa della popolarità del gioco come oggetto di ricerca è dunque eminentemente pratica. Gli Scacchi, come tutti i giochi di strategia, costituiscono un semplice modello mediante il quale si possono studiare le procedure astratte che permettono agli esseri umani di prendere decisioni. In altri termini, se riusciamo a far giocare bene un computer, possiamo sperare di insegnargli a ragionare «come noi», e forse meglio, grazie alla grande velocità con cui la macchina elabora e comunica immense quantità di dati. È interessante notare che lo psicologo francese Alfred Binet (inventore della nozione di quoziente di intelligenza) nella sua opera «Psychologie des Grand Calculateurs et Joueurs d'Échecs» mise a confronto già nel 1894 le capacità psichiche dei giocatori di scacchi con quelle di coloro che sono particolarmente abili nel calcolo mentale.

Vedremo dunque come l'intreccio tra discipline matematiche e gioco degli Scacchi sia stato fertile di brillanti risultati sul piano scientifico, ed altri ne può portare. Questo articolo ha la seguente struttura: nel prossimo paragrafo vediamo come il gioco degli Scacchi abbia originato alcuni interessanti problemi di matematica combinatoria, che sono stati studiati nei secoli da parecchi studiosi; nel Paragrafo 3 tracciamo una breve storia degli automi capaci di giocare a Scacchi, evidenziando la complessità combinatoria del problema; nel Paragrafo 4 vediamo quali siano state le principali idee alla base della costruzione dei primi programmi; nel Paragrafo 5 descriviamo quali considerazioni abbiano guidato la progettazione della macchina parallela che ha battuto il Campione del Mondo di Scacchi.

## **2. – Scacchi e Matematica.**

Gli storici del gioco sono incerti sulla data di nascita del gioco degli Scacchi: in sostanza la loro origine è tuttora avvolta nel mistero.

Sappiamo per certo che alcune culture usavano come strumenti di calcolo abaci a forma di scacchiera. Il Ministro delle Finanze del Regno Unito è tutt'oggi chiamato «Cancelliere dello Scacchiere» non certo perché è un campione di Scacchi, ma perché anticamente alcune gabelle venivano pagate mettendo i denari su una scacchiera che serviva a tenere i conti. Possiamo dunque ipotizzare che molto tempo fa a qualcuno sia venuto in mente di usare uno strumento di calcolo come tavoliere di gioco, ma allo stato attuale dei ritrovamenti archeologici non possiamo dimostrare quest'ipotesi.

Le prime testimonianze scritte che ci sono rimaste sul gioco degli Scacchi sono persiane, ma l'origine del gioco dovrebbe essere indiana [Murray 1913]. I primi veri e propri libri di Scacchi furono scritti tuttavia da alcuni giocatori arabi. Il popolo arabo ebbe verso l'anno 1000 una vera passione per il gioco, e ci sono tramandati i nomi di alcuni grandi campioni. Spesso i grandi giocatori arabi erano anche poeti e matematici, e dimostravano quindi una ecletticità culturale simile a quella degli intellettuali rinascimentali. È possibile che proprio nella cultura scacchistica araba, che mescolava gli interessi ludici a quelli poetici e scientifici, siano nate alcune leggende che evidenziano la natura matematica del gioco. Ad esempio, uno dei racconti più noti sulla nascita della scacchiera è legato ad un aspetto matematico. Narra la leggenda che un monarca indiano ordinò un giorno ad un saggio di inventare un gioco che doveva simbolizzare la soggezione dell'uomo al destino mostrando come funziona questa forza. Il saggio inventò il *nard*, un gioco in cui i giocatori muovono le proprie pedine sulla scacchiera secondo regole complicate in base ai risultati del lancio di due dadi. Il *nard* esemplificava la dipendenza dell'uomo dalla buona o cattiva sorte. Quel che ci interessa qui è come la leggenda termina. Quando il re invitò il saggio a scegliere la propria ricompensa, questi chiese un certo quantitativo di grano da disporre secondo un certo schema sulla scacchiera 8x8: la prima casella doveva contenere un solo granello, la seconda casella doveva contenerne due, la terza quattro, la quarta otto, e così via. Il monarca acconsentì, non rendendosi conto che la quantità totale di grano necessaria è enorme, pari a  $2^{64-1}$  granelli.

Tutte le varianti della leggenda che menzionano questa ricom-

pensa raccontano più o meno la stessa storia. Murray su questo riferimento ricorrente alla ricompensa esponenzialmente enorme fonda l'ipotesi che le radici del gioco vadano cercate in giochi magici e d'azzardo:

*«Gli Indiani tramandano una misteriosa interpretazione del raddoppio delle case della scacchiera. Mettono in relazione la Causa Prima, che siede oltre le sfere e da cui tutto dipende, con la somma posta sulle caselle. Gli Indiani spiegano con questi calcoli la marcia del tempo e delle epoche, le influenze superiori che governano il mondo e i legami che le legano all'anima umana».*

La nascita stessa del gioco dunque sembra legata indissolubilmente ad aspetti matematici. Non ci sorprende quindi che il gioco abbia affascinato i matematici di tutte le epoche e di tutti i luoghi, sia come occasione di svago che come fonte di problemi degni di studio scientifico. Probabilmente, il più famoso problema legato alla scacchiera, per il quale abbiamo numerose fonti storiografiche, è quello detto del «giro del cavallo».

**PROBLEMA.** – Con un cavallo, percorrere tutte le case della scacchiera senza passare mai due volte per la stessa casella.

**VARIANTE** (detta «Giro del Cavallo»). – Con l'ultima mossa, il cavallo deve tornare alla casa di partenza.

Sappiamo per certo che gli arabi conoscevano questo problema e trovarono alcune soluzioni. Un problemista musulmano del nono secolo, tale al-Adli, risolse il problema; prima di lui alcuni manoscritti sia arabi che indiani riportarono la soluzione al problema ristretto a mezza scacchiera.

Nel 1759 il problema del giro del Cavallo venne studiato da Eulero. Per quantità e qualità, le ricerche di Leonardo Eulero, matematico di Basilea, costituiscono un corpus eccezionale nella storia della matematica. Nel 1735 aveva affrontato il problema cosiddetto «dei sette ponti di Königsberg». In questa cittadina prussiana c'erano sette ponti che permettevano di accedere ad un'isola in un fiume. Il problema consisteva nell'attraversarli tutti senza passare due volte

per lo stesso ponte. Eulero dimostrò che era un compito impossibile, gettando le basi della disciplina che oggi chiamiamo topologia. In uno dei suoi lavori successivi Eulero affrontò il problema del *giro* del cavallo, che da un punto di vista topologico non è dissimile da quello dei sette ponti. Egli escogitò alcuni principi generali che permettono di comporre soluzioni esteticamente eleganti, piene di misteriose simmetrie. Dopo di lui, il problema venne studiato tra gli altri da Vandermonde, Moon, DeMoivre, Roget, e dall'italiano Bartolomeo Ciccolini, che dedicò un intero libro al problema.

Nessuno sa a tutt'oggi quante siano le diverse possibili soluzioni. Di tutte quelle trovate fino ad ora, le più affascinanti ricavano un quadrato magico dalla numerazione della sequenza di mosse che compie il cavallo. Questa variante del problema venne studiata specificatamente in un libro del russo Jänisch, ottimo giocatore e professore di meccanica razionale a S. Pietroburgo [von Jänisch 1863].

2	11	58	51	30	39	54	15
59	50	3	12	53	14	31	38
10	1	52	57	40	29	16	55
49	60	9	4	13	56	37	32
64	5	24	45	36	41	28	17
23	48	61	8	25	20	33	42
6	63	46	21	44	35	18	27
47	22	7	62	19	26	43	34

Fig. 1. – Quadrato magico di ordine 8 costruito mediante mosse di cavallo.

In un quadrato magico di ordine 8, come quello della Fig. 1, la somma dei numeri su ciascuna colonna e ciascuna riga ammonta a 260 (anche le diagonali maggiori dovrebbero dare la stessa somma, ma la soluzione presentata non gode di questa proprietà). La matrice contiene i naturali da 1 a 64 in modo che due numeri consecutivi (ed anche i numeri 64 e 1) sono «contigui» in termini di una mossa di ca-



vallo. Se pensiamo che questo risultato venne ottenuto in un'epoca in cui non esistevano i moderni elaboratori, non possiamo che restare ammirati dell'ingegno dello scopritore di tale soluzione.

I quadrati magici «scacchistici» sono molto antichi. La posizione in Fig. 2, ottenuta dopo le mosse: 1.d3 d6 2.e3 e6 3.b3 b6 4.g3 g6 5.c3 c6 6.f3 f6 7.c4 c5 8.f4 f5 9.Cc3 Cc6 10.Cf3 Cf6 11.Tb1 Tb8 12.Tg1 Tg8 è un tabiya, cioè una posizione di partenza alternativa a quella standard in cui alcuni pezzi sono già sviluppati.

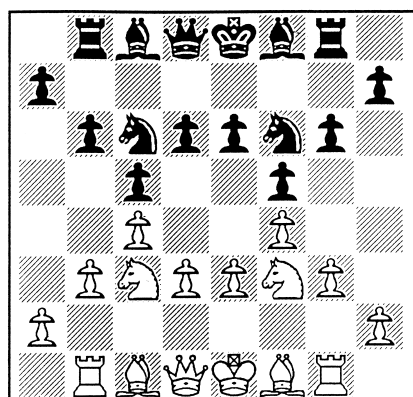


Fig. 2. – Un tabiya (posizione di inizio gioco in cui alcuni pezzi sono già sviluppati).

La sequenza di mosse che costruisce il tabiya in Fig. 2 è in speciale corrispondenza con il quadrato magico in Fig. 3.

64	63	3	4	5	6	58	57
56	55	11	12	13	14	50	49
17	18	46	45	44	43	23	24
25	26	38	37	36	35	31	32
33	34	30	29	28	27	39	40
41	42	22	21	20	19	47	48
16	15	51	52	53	54	10	9
8	7	59	60	61	62	2	1

Fig. 3. – Quadrato magico in speciale corrispondenza con la posizione di Fig. 2.

Le prime quattro semimosse della sequenza, in notazione estesa, 1.d2-d3 d7-d6 2.e2-e3 e7-e6 se tradotte nelle cifre del quadrato magico e poi sommate totalizzano 260. Lo stesso per le successive quattro semimosse e così via per tutta la sequenza. Uno studioso croato, Bidev, ha ipotizzato che il movimento dei pezzi di Scacchi possa essere nato da problemi di percorso su quadrati magici speciali.

Pochi decenni dopo Eulero, un altro gigante della matematica, Gauss, studiò un altro problema molto famoso tra i giocatori:

**PROBLEMA.** – Disporre otto regine sulla scacchiera senza che si attacchino vicendevolmente.

Gauss si occupò del calcolo del numero di diverse soluzioni possibili, escludendo quelle simmetriche ricavabili per rotazione o traslazione della scacchiera: ne trovò 72. In realtà sono un po' di più. Questa è una delle soluzioni:

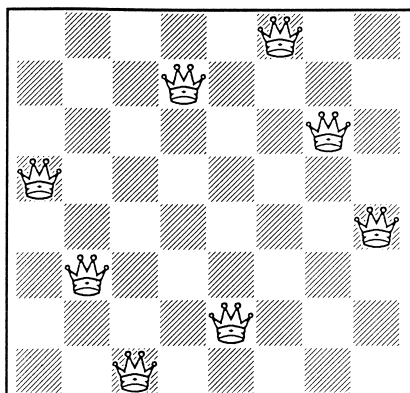


Fig. 4. – Otto regine che non si attaccano vicendevolmente.

Questo problema viene studiato spesso dai ricercatori informatici come problema combinatorio da risolvere con un calcolatore: spesso nuovi sistemi di programmazione, specie per il calcolo parallelo, vengono messi alla prova su programmi che risolvono il problema delle otto regine.

Un altro problema che ha ricevuto una certa attenzione è il seguente:

PROBLEMA. – Con gli 8 pezzi maggiori di un colore (Re, Regina, 2 Torri, due Cavalli, due Alfieri su case di colori diversi) controllare il maggior numero di case della scacchiera. Quant'è il massimo?

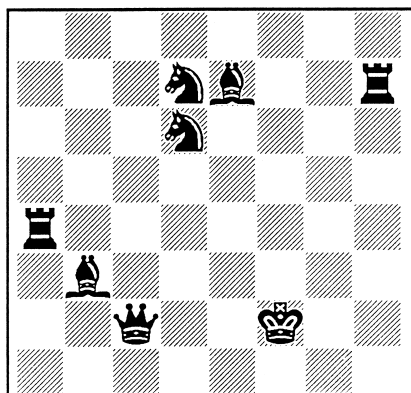


Fig. 5. – Un problema di dominazione.

Il diagramma in Fig. 5 mostra una posizione in cui otto pezzi attaccano 63 case, che è il massimo con alfieri su case di colore diverso.

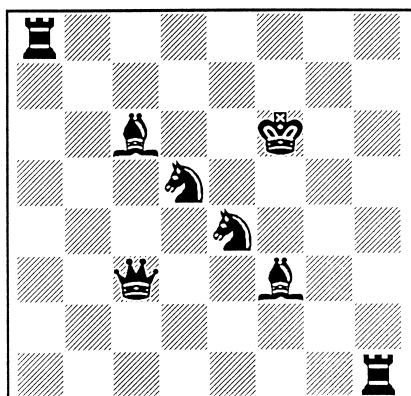


Fig. 6. – Dominazione massima?

Il diagramma in Fig. 6 mostra come vengono attaccate 64 case, ma gli alfieri sono su case dello stesso colore. In [Robinson

1989] troviamo una discussione completa del problema e della relativa soluzione ottenuta con l'aiuto del calcolatore.

### **3. – Macchine capaci di giocare.**

Anche se in qualche modo pensatori come Leibniz avevano anticipato tale possibilità, nella seconda metà del '900 l'avvento del calcolatore digitale programmabile come strumento per fare matematica ha cambiato molte cose per i ricercatori. Nel caso degli Scacchi questo ha voluto dire poter usare il computer per risolvere problemi combinatori di grande dimensione dello spazio delle soluzioni. Tuttavia, il più affascinante problema che è stato affrontato dai ricercatori è stato quello di provare a progettare macchine capaci di giocare e possibilmente battere i migliori giocatori umani.

La creazione di esseri artificiali è uno dei miti guida della storia della magia prima, e della scienza poi, fonte di leggende e di aneddoti in cui si ricordano i nomi di scienziati come Erone, Bacone, Cartesio, Leibniz e molti altri. I ripetuti tentativi attribuiti a sapienti ed alchimisti medievali di creare esseri artificiali, golem o automi, testimoniano la forza di un sogno terribile e affascinante al tempo stesso. La storia degli automi è un capitolo importante della storia della scienza moderna [Losano 1990]. È nel '700 che la tecnologia meccanica giunge ad un sufficiente grado di maturazione, come si vede soprattutto negli automi costruiti dal francese Vaucanson. Costui fu abile costruttore di automi capaci di imitare le principali funzioni animali o addirittura umane. I musei specializzati conservano animali meccanici che cantano o mangiano, teste che parlano, strumenti musicali che suonano da soli.

Nel 1769 il barone von Kempelen, ingegnere e consigliere di Stato dell'impero Austro-Asburgico, venne invitato ad una esibizione di corte in cui vennero mostrati alcuni esperimenti di elettromagnetismo. L'imperatrice Maria Teresa, ospite della serata, chiese al barone cosa ne pensasse di tali nuovi fenomeni. Il barone, lusingato dell'attenzione della sovrana, rispose che nel giro di un anno sarebbe stato in grado di mostrare un oggetto scientificamente ancora più spettacolare. Quando venne il momento, il barone si presentò a corte

con un automa meraviglioso: era capace addirittura di giocare a Scacchi. La macchina venne esibita in molte corti europee, ed alcuni scienziati dell'epoca cercarono di spiegarsi come fosse possibile il suo funzionamento, che VonKempelen tenne sempre gelosamente segreto. Una macchina del genere era chiaramente qualcosa di straordinario, e molti scienziati tentarono di carpirne il segreto. Molto rapidamente si giunse alla conclusione che la macchina doveva essere sostanzialmente un inganno: infatti i suoi ingranaggi celavano abilmente un bravo giocatore di corporatura minuta.

Fu il matematico inglese Charles Babbage che per primo studiò scientificamente il problema delle macchine capaci di giocare. Egli inventò e progettò un vero e proprio calcolatore programmabile - la cosiddetta *Macchina Analitica*. Questo computer primigenio non venne mai effettivamente costruito, sia a causa della primitiva tecnologia dell'epoca che del carattere inconcludente dell'inventore. Cionondimeno Babbage pensò a tutta una serie di possibili applicazioni. Si era reso conto che una macchina del genere avrebbe potuto sfidare la capacità forse più squisitamente umana, l'intelligenza, e scelse i giochi di strategia come terreno di una eventuale sfida. In un articolo scritto nel 1864 Babbage sosteneva che qualsiasi gioco ad informazione completa può essere affrontato con successo da un automa.

*Dopo molti studi ho scelto l'esperimento di costruire una macchina che dovrebbe poter giocare con successo una partita di un gioco di abilità puramente intellettuale, come ad esempio il filetto, la dama, o gli scacchi...*

*L'automa «esamina» una posizione, e poi comincia a porsi una serie di domande:*

1. *L'ultima mossa fatta dal mio avversario è legale? Se no, protesto.*
2. *Ho una posizione indifendibile (ovvero, il matto è inevitabile)? Se sì, abbandono.*
3. *Tra quelle possibili, c'è una mossa che mi dà la vittoria (cioè posso dare scacco matto)? Se sì, la dichiaro.*
4. *L'avversario sta per fare una mossa vincente? Se sì, la preven-  
go.*

*5. Se alla prossima mossa non c'è una mossa vincente per uno di noi due, debbo cercare una mossa che crea una doppia minaccia, in modo che il mio avversario ne possa parare una sola; se c'è, la effettuo.*

*6. Se i primi 5 test falliscono, esamino le mosse successive e in qualche modo ne scelgo una; la effettuo senz'altro.*

Le «istruzioni» che compongono tale algoritmo sono in tutta evidenza piuttosto rozze e imprecise, né Babbage le raffinò ulteriormente. Tanto per cominciare, l'istruzione 6 è tutt'altro che ben definita: che vuol dire precisamente «in qualche modo ne scelgo una»?

In effetti, Babbage pensò e sperimentò in linea teorica tale algoritmo non per gli Scacchi, ma per il gioco del Filetto, limitandosi a dichiarare - alquanto superficialmente - che gli Scacchi non presentano diversa difficoltà di analisi. In realtà nel caso del Filetto il numero delle mosse possibili da considerare per decidere la mossa successiva è basso, e non è difficile definire dei criteri di ottimalità che aiutano nella scelta della mossa. D'altra parte, è certamente vero che nell'algoritmo delineato si può rilevare un abbozzo del modo di funzionamento di tutti i futuri giocatori artificiali di Scacchi.

Il primo vero automa scacchistico fu costruito in Spagna nel 1890. L'ingegnere L. Torres y Quevedo, famoso per l'invenzione di un siluro particolarmente micidiale, costruì a scopo dimostrativo una macchina elettromeccanica capace di giocare con precisione un particolare tipo di posizione: il finale di Re e Torre soli contro Re solo. Torres y Quevedo costruì un insieme di meccanismi che complessivamente realizzavano un algoritmo composto da sei regole, capaci di mattare il Re Nero sempre nella stessa zona: la riga più in basso. L'automa gioca sempre col Bianco, che si presuppone essere la parte in vantaggio, cioè quella con la Torre. La macchina si trova oggi presso l'Università Politecnica di Madrid, e almeno fino al 1958 era perfettamente funzionante.

La macchina di Torres y Quevedo è considerato il primo vero automa capace di risolvere un problema scacchistico. Tuttavia, da tutti i punti di vista il più importante problema è quello del diagramma in

Fig. 7, che mostra la posizione iniziale del gioco:

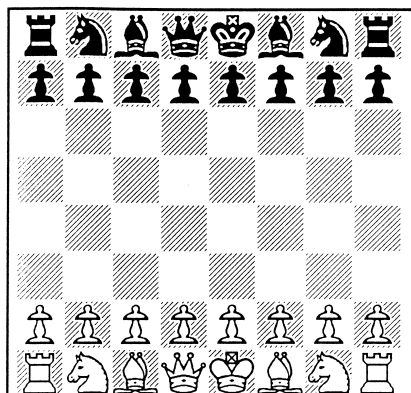


Fig. 7. – Il Bianco muove; chi vince?

Le regole del gioco stabiliscono chiaramente che la risposta può essere una tra queste: vince il Bianco, vince il Nero, oppure patta. Per di più, le regole di patta per ripetizione di posizione o dopo 50 mosse senza catture o mosse di pedone pongono un limite alla durata della partita; la partita più lunga, costruita artificialmente apposta in modo da farla durare il più possibile, al più può durare circa 5500 mosse.

Se i giocatori di scacchi stanno ancora cercando di dare una risposta al quesito, per i matematici questo non ha un grande interesse, perché E. Zermelo, uno dei padri della teoria degli insiemi, nel 1912 dimostrò un teorema apparentemente banale, la cui formulazione più o meno è la seguente [Zermelo 1912]:

**TEOREMA DI ZERMELO.** – «Nel gioco degli Scacchi, data la posizione iniziale, o il Bianco forza la vittoria, o il Nero forza la vittoria, o i due contendenti possono forzare la patta».

Tale teorema sembra asserire una banalità, perché i risultati possibili di una partita sono stabiliti dalle regole di gioco. La novità sta nell'uso della parola «forzare». Il teorema stabilisce l'esistenza teorica della cosiddetta «partita reale», cioè della partita perfetta in cui entrambi i giocatori giocano le mosse migliori. Il problema che resta

irrisolto sta nella costruzione di tale partita perfetta (e nel conoscerne il risultato!).

Il matematico americano (di origine ungherese) J. von Neumann notò per primo che il problema della partita perfetta non è molto interessante sotto il profilo matematico. Von Neumann inaugurò una nuova disciplina, la Teoria dei Giochi, fondandola sul teorema del Minimax, a sua volta parte di una teoria che permette di analizzare un gran numero di situazioni conflittuali, come per esempio l'economia di mercato o la guerra. In particolare, la teoria permette anche di sviluppare un sistema razionale per giocare giochi «ad informazione completa» come gli Scacchi, dove due avversari debbono prendere decisioni e sviluppare strategie tenendo conto che l'avversario cercherà di contrastarle.

Von Neumann dimostrò che si può definire un algoritmo che permette di decidere quale sia la miglior strategia per giocare una classe di giochi a due giocatori detti *giochi finiti ad informazione completa*. La partita perfetta è facilmente costruibile con tale metodo; peccato che una costruzione concreta, nel caso degli Scacchi, implichi lo sviluppo di un albero di gioco smisurato, in pratica impossibile da elaborare anche con i computer più potenti. Infatti, è un interessante esercizio di matematica combinatoria riflettere sulla dimensione del problema «scacchi». Nella posizione iniziale il Bianco ha 20 mosse possibili; altrettante il Nero, il che ci porta a  $20^2$  posizioni possibili dopo la prima mossa. Se assumiamo che la durata media di una partita è di 40 mosse, e che mediamente ci sono per ogni lato almeno 33 mosse possibili arriviamo facilmente ad una valutazione di circa  $10^{120}$  partite. Malgrado le apparenze, è estremamente difficile fare un conto più preciso. Persino alla domanda «Quante sono le diverse posizioni possibili?», è difficile dare risposta. La formula

$$\frac{64!}{(2!)^6 (8!)^2 (32!)}$$

che risulta in circa  $10^{43}$  posizioni, è una valutazione riportata in [Shannon 1950], ed è davvero troppo approssimativa. In ogni caso cifre come queste ci dicono che a causa dell'esplosione combinatoria è



impossibile sia esplorare perfettamente l'albero di gioco sia costruire un database perfetto di tutte le posizioni possibili con relativa mossa da giocare.

È interessante notare che certe varianti scacchistiche sono state anch'esse studiate con un approccio matematico. Ad esempio, negli «Scacchi marsigliesi» ogni giocatore muove due volte per ogni turno di gioco; è facile dimostrare che o il Bianco forza la vittoria o la partita è patta. Infatti, il Nero non può vincere, perché se esistesse per lui una strategia vincente, allora il Bianco potrebbe «appropriarsene» col semplice espediente di muovere un cavallo e poi riportarlo nella posizione iniziale, «passando» quindi la mossa d'apertura al Nero.

#### **4. – La costruzione di un giocatore artificiale.**

La crittografia, sin dai tempi di Giulio Cesare, è sempre stata una scienza matematica di interesse militare. All'inizio della seconda guerra mondiale, gli inglesi misero insieme a Bletchey Park un gruppo dei loro migliori matematici, a lavorare alla decifrazione dei codici segreti tedeschi. Una delle migliori menti del gruppo era Alan Turing, brillante matematico di Cambridge. Curiosamente, i matematici vennero affiancati dai migliori scacchisti inglesi dell'epoca, in particolare da C. Alexander e H. Golombek. Fu certamente in questa sede che Turing iniziò a sviluppare alcune sue idee che poi si rivelarono di importanza fondamentale per lo sviluppo delle basi teoriche dell'Informatica. Turing si interessò moltissimo al problema di definire una strategia di gioco matematicamente perfetta, ovvero di un insieme di regole capaci di guidare le mosse di una macchina. L'analogia con i processi mentali matematici è abbastanza chiara: la macchina scacchista seleziona la migliore tra tante mosse; la macchina matematica ha un teorema da dimostrare e seleziona tra tutti i postulati assunti o tra i teoremi già dimostrati quello più adatto per proseguire la dimostrazione. Turing raggiunse rapidamente la conclusione che l'algoritmo Minimax di von Neumann sarebbe stato di non difficile realizzazione con un computer [Turing 1953].

Con l'invenzione del calcolatore elettronico programmabile i ten-

tativi di costruire giocatori artificiali ricevono nuova linfa. Nel 1950 l'americano C. Shannon, ricercatore dei laboratori Bell, scrisse un articolo in cui analizzava il problema della programmazione di un calcolatore elettronico allo scopo di costruire un giocatore artificiale di Scacchi [Shannon 1950]. La prima parte dell'articolo mostrava come si debbono programmare le regole di gioco, in particolare le mosse dei pezzi. Avendo risolto questo problema relativamente semplice, Shannon dimostra, grazie alla teoria del Minimax, che un computer può giocare una partita perfetta di qualsiasi gioco a informazione completa, e quindi anche di Scacchi. In pratica però questo risulta un compito al di là delle capacità di qualsiasi computer esistente, a causa dell'enorme quantità di mosse da considerare per giungere ad una conclusione valida in assoluto. Shannon chiamò questa strategia di ricerca, in cui tutte le varianti vengono analizzate, *strategia A* o «ricerca per forza bruta».

Shannon propose quindi di costruire non un algoritmo di gioco perfetto, ma delle «funzioni di valutazione», capaci di dare una risposta accettabile non in tutti ma in molti casi. Le mosse da analizzare dovevano essere scelte in base ad un qualche criterio di plausibilità; questo metodo di analisi venne chiamato *strategia B*, o «ricerca con valutazione euristica». Shannon scrisse

*«Sebbene non sia possibile costruire una funzione di valutazione semplice ed accurata per valutare le posizioni degli Scacchi, ogni buon giocatore è in grado di fare una valutazione approssimata. Tali valutazioni si basano sulla struttura generale della posizione, sul numero e tipo dei pezzi, sulla formazione dei pedoni, la mobilità, ecc. Tali valutazioni non sono perfette, ma quanto più è forte il giocatore, tanto migliore risulta la sua capacità di giudizio.»*

Un primo criterio ovvio è quello di quantificare il materiale presente sulla scacchiera. Questo è un criterio estremamente rozzo, perché tende a sottovalutare gli aspetti strategici e posizionali, ma è pur sempre un punto di partenza. Shannon propose una valutazione che tenesse conto, oltre che del materiale, anche dei pedoni doppiati, isolati e arretrati, nonché del numero di mosse possibili ai due eserciti avversari.

Nello stesso articolo, Shannon suggeriva alcuni problemi pratici che avrebbero tratto giovamento dallo studio del progetto di giocatori artificiali:

- macchine che progettano componenti elettronici;
- macchine che sostituiscono le centrali telefoniche elettromeccaniche;
- macchine per elaborare operazioni simboliche (derivate, integrali, ecc.);
- macchine capaci di tradurre frasi da una lingua in un'altra;
- macchine capaci di decisioni strategiche in domini militari o economici;
- macchine capaci di orchestrare una melodia;
- macchine capaci di deduzione logica.

Dunque, all'inizio degli anni '50 il mondo scientifico era maturo per lanciare a se stesso una grande sfida: la costruzione di un automa capace di giocare e dominare il «gioco dei Re». Shannon e Turing avevano affrontato il problema sulla carta; adesso la parola passava ai principali laboratori di ricerca.

La Carnegie Mellon University è il centro di ricerca che più di ogni altro ha dato un contributo alla storia del gioco artificiale. Qui verso il 1955 Herbert Simon e Allen Newell iniziarono la progettazione del programma CP-1 (*Chess Player 1*). Il loro scopo era quello di esplorare la possibilità di costruire una macchina «intelligente», capace di dimostrare teoremi matematici o di progettare sistemi complessi. Le basi teoriche del loro programma si riallacciavano alle ricerche di A. Binet, che alla fine del secolo scorso aveva studiato la psicologia del gioco alla cieca, e soprattutto di A. DeGroot, che nel 1946 aveva pubblicato una dissertazione sulla psicologia dei giocatori di Scacchi. Simon, che nel 1979 vincerà il premio Nobel per l'economia, conosceva bene le ricerche di Binet e DeGroot, in quanto si interessava di psicologia della razionalità umana.

Newell e Simon decisero che gli Scacchi fornivano un buon terreno di prova per progettare una «macchina intelligente». Erano ben

consci di esser sul punto di costruire qualcosa di straordinario. Nella sua autobiografia Simon racconta di come una mattina del gennaio del 1956, dopo aver passato il mese precedente ad organizzare il programma coi suoi colleghi, entrò in classe annunciando: «Durante le vacanze di Natale io e Newell abbiamo progettato una macchina che pensa» [Simon 1991]. Negli stessi giorni scrive a DeGroot:

*«... Allen Newell ed io abbiamo fatto progressi sostanziali sulla macchina che gioca a Scacchi, solo che per il momento non sa giocare a Scacchi ma solo cercare e scoprire dimostrazioni di teoremi di logica simbolica...».*

Il programma che avevano progettato si chiamava Logic Theorist ed era scritto in IPL-2, un linguaggio di programmazione appositamente sviluppato. Il programma di Scacchi venne effettivamente scritto solo qualche anno dopo, in collaborazione con C. Shaw, per cui venne chiamato NSS. Il suo programma di gioco era abbastanza sofisticato, ma l'uso di un linguaggio sperimentale di programmazione penalizzò talmente le prestazioni della macchina che occorreva un'ora per fare una mossa. A causa della sua inefficienza, il programma venne usato per giocare una sola partita, ma pure entusiasmò talmente i suoi autori che questi incautamente profetizzarono che entro 10 anni il Campione del Mondo sarebbe stato un giocatore artificiale.

Nel frattempo, nel 1956, un altro gruppo di ricercatori dei laboratori di Los Alamos, dove era stata sviluppata la prima bomba atomica, aveva scritto un programma capace di giocare su una scacchiera semplificata 6x6 (mancavano i quattro alfieri). Il programma, che girava su una macchina chiamata MANIAC I, giocò solo tre partite: una contro se stesso, una contro un giocatore esperto, che diede il vantaggio di Donna e tuttavia vinse, e una terza contro un'anonima «studentessa» che effettivamente perse, ma solo perché aveva imparato a giocare appena una settimana prima. Un cinico potrebbe dire che costei era stata appositamente «programmata» per essere il primo essere umano a perdere contro una macchina.

Il primo programma che davvero si dimostrò davvero capace di giocare a Scacchi fu scritto al MIT di Boston da A. Bernstein ed altri

alla fine degli anni '50. Il programma di Bernstein usava una strategia cosiddetta di tipo B: sceglieva in una posizione le sette mosse migliori usando alcuni principi generali, analizzava per ciascuna mossa le sette migliori risposte, e ripeteva il procedimento per ciascuna delle 49 posizioni così ottenute. Il programma veniva eseguito da un elaboratore IBM 704 ed impiegava circa otto minuti per analizzare  $7^4 = 2401$  varianti prima di effettuare una mossa. L'esame di una singola posizione comportava l'effettuazione di 7.000 operazioni di macchina, che realizzavano alcune analisi strategiche: bilancio del materiale, misura della mobilità dei pezzi, analisi del controllo dello spazio e valutazione del grado di sicurezza del Re. Il programma giocava come un principiante, ma venne enormemente pubblicizzato negli Stati Uniti, contribuendo a far conoscere al grosso pubblico scopi e prospettive dell'Intelligenza Artificiale.

Il MIT per diversi anni fu il più importante centro di ricerca sul gioco artificiale. Il principale ricercatore impegnato attivamente nel tentativo di costruire macchine intelligenti era J. McCarthy. Egli aveva ottenuto la disponibilità di uno dei primi mainframe IBM, un modello 704, che i suoi studenti cominciarono a programmare usando un nuovo linguaggio di programmazione, il LISP, inventato da McCarthy stesso. L'interesse di McCarthy nella macchina capace di giocare a Scacchi era sostanzialmente teorico, ma alcuni suoi studenti si entusiasmarono del progetto e lo portarono avanti. Finalmente nel 1962 A. Kotok, uno di tali studenti, terminò di scrivere un programma di Scacchi e lo presentò come tesi di laurea. Per ragioni di efficienza il programma era scritto in FORTRAN e assembler, ma non giocò mai veramente bene. Il programma di Kotok venne ulteriormente sviluppato da McCarthy che si era trasferito a Stanford, in California, e nel 1967 divenne il rappresentante americano in una famosa sfida contro una macchina sovietica.

I sovietici avevano iniziato le loro ricerche da alcuni anni, e si avvalevano ovviamente dell'aiuto di alcuni esponenti della loro grande scuola scacchistica. Era la prima volta che le ricerche sovietiche venivano allo scoperto, e il risultato fece sensazione: l'URSS vinse per 3-1 quella prima sfida per corrispondenza, con due vittorie e due patte. L'incontro fu particolarmente interessante dal punto di vista

scientifico, perché i due programmi usavano strategie di ricerca opposte. Il programma sovietico usava una strategia di tipo A (o forza bruta): venivano esplorate tutte le varianti possibili fino alla profondità di 5 semimosse. Il programma americano usava una ricerca di tipo B (o euristica): non tutte le varianti possibili venivano esplorate, ma solo quelle definite «plausibili».

Negli anni della corsa alla Luna, una sconfitta tecnologica di questo genere venne vista negli USA come una vera e propria onta nazionale. Il risultato dell'incontro stimolò nuove ricerche, e R. Greenblatt costruì poco dopo una nuova macchina. Il programma si chiamava MacHack, usava un Digital PDP-6 del MIT ed ebbe l'onore di essere il primo giocatore artificiale a debuttare in un torneo di umani a Boston nel 1967. La prestazione di MacHack al torneo fu pessima. Tuttavia, col suo debutto agonistico la lunga corsa verso il Campionato del Mondo era davvero cominciata: infatti al programma fu permesso di iscriversi alla federazione scacchistica americana (USCF), stabilendo così un precedente. A parte il risvolto pubblicitario a fini commerciali, partecipando a tornei ufficiali un programma ottiene un punteggio Elo, che ne misura la forza di gioco. Tale sistema di misura prende il nome da A. Elo, uno studioso di statistica, che tra il 1960 ed il 1970 mise a punto un sistema di valutazione della forza di gioco che è tutt'oggi usato in tutto il mondo. Chi comincia a giocare a livello agonistico assume un punteggio di circa 1000 punti. Le variazioni di punteggio avvengono in seguito al conteggio delle vittorie e delle sconfitte in tornei ufficiali, confrontando l'Elo personale con quello degli avversari, calcolando quindi un punteggio virtualmente «atteso», e confrontando questo con quello realmente conseguito. Ad esempio, il Campione del mondo «vale» oggi circa 2800 punti, mentre la curva di Gauss che descrive la popolazione scacchistica mondiale ha una mediana intorno ai 1400. Per esempio, l'autore di questo articolo vale circa 2000 punti, ed ha una qualifica di «candidato maestro».

MacHack raggiunse una valutazione Elo pari a 1500 punti: il livello di un medio dilettante. MacHack non riuscì mai a giocare bene, ma quando fu esibito durante una conferenza che si tenne ad Edimburgo nel 1968 ebbe il merito di attirare l'attenzione di un forte gio-

catore scozzese, tale David Levy. Veder la macchina giocare aveva scatenato l'euforia degli scienziati presenti, alimentando rosee speranze per il futuro dell'Intelligenza Artificiale. Fu allora che Levy, stupito dall'entusiasmo ingiustificato acceso dalle mediocri prestazioni della macchina, scommise che nessun giocatore artificiale sarebbe riuscito a batterlo nei 10 anni seguenti. Sfidare Levy divenne un punto d'onore per tutti i principali ricercatori. La scommessa venne accettata da due ricercatori presenti alla conferenza, J. McCarthy e D. Michie. Nel corso degli anni la scommessa venne ribadita ed altri ricercatori scommisero contro Levy. Nel 1976 la scommessa ammontava a 1.250 sterline, che Levy vinse nel 1978 battendo facilmente il miglior programma di quell'anno. Per ulteriori dettagli si veda [Curzio 1981].

La sfida di Levy ebbe tuttavia il merito di spronare i membri della comunità scientifica, che decisero di incontrarsi annualmente per misurare i progressi conseguiti. Nel 1970 a New York iniziò infatti una competizione riservata ai giocatori artificiali che continua ogni anno ancora oggi, raccogliendo sempre una partecipazione molto qualificata: il torneo dell'*Association for Computing Machinery* (ACM), in seguito denominato torneo NACC (*North American Computer Championship*). Nel 1974, a Stoccolma, venne introdotta su suggerimento di Levy una nuova manifestazione ufficiale: il Campionato del Mondo per giocatori artificiali. La novità del torneo di Stoccolma fu la partecipazione di un programma sovietico, Kaissa, diretto discendente del programma che aveva vinto la sfida USA-URSS del 1967. Kaissa era stato scritto da M. Donsky e V. Arlazarov, dell'Istituto per le Scienze Sistemiche di Mosca. Ebbe l'onore di diventare il primo giocatore artificiale a fregiarsi ufficialmente del titolo di Campione del Mondo, vincendo tutte le partite. Questa prima affermazione però non venne seguita da altri successi. Infatti tre anni dopo, a Toronto, Kaissa non riuscì a ripetersi e giunse solo seconda dopo il programma americano Chess 4.6. La sconfitta fu dovuta soprattutto al fatto che il tempo di macchina in URSS era costosissimo, a causa della scarsità di calcolatori, quindi gli autori del programma non avevano potuto migliorarlo quanto i suoi concorrenti.

Le novità tecnologiche più importanti della fine degli anni '70

furono due: l'introduzione del microprocessore, ed i grandi miglioramenti delle tecniche di progettazione di hardware specializzato (VLSI). Entrambe queste novità vennero impiegate per la costruzione di giocatori artificiali di Scacchi.

L'invenzione del microprocessore mise alla portata di tutte le borse un calcolatore personale; l'introduzione sul mercato delle cosiddette *scacchiere elettroniche* sarebbe stata impensabile altrimenti. Nel 1973 F. Faggin, aveva progettato per la Intel il 4004, un microprocessore a 4 bit; nel 1974 esistevano già i primi microprocessori per hobbysti. Nel 1977 venne commercializzata la prima scacchiera elettronica: si chiamava Chess Challenger, era stata progettata da R. Nelson e venne prodotta dalla Fidelity International. Costava poche centinaia di dollari e venne venduta in migliaia di esemplari. Per comprendere il significato economico di questa invenzione, basterà riportare alcune cifre. I sedici computer partecipanti al campionato mondiale di Toronto nel 1977 erano tutti grossi calcolatori; venne calcolato che il loro costo totale era di 40 milioni di dollari, e un'ora di gioco costava 10.000 dollari. Ai campionati degli anni '90 partecipano invece normali personal computer o comunque scacchiere elettroniche che raramente costano più qualche migliaio di dollari.

Il boom delle macchine commerciali incoraggiò l'organizzazione di un campionato del Mondo apposito. Dal 1980 esiste infatti una terza grande manifestazione (oltre ai tornei NACC ed al Campionato del Mondo assoluto): è il Campionato del Mondo per microcomputer.

L'altra grande novità che rivoluzionò profondamente la ricerca sui giocatori artificiali fu la costruzione di hardware specializzato per la generazione di mosse. Mentre i primi giocatori artificiali utilizzavano calcolatori «normali», ovvero di uso generale, ad un certo punto si cominciò a costruire hardware progettato specificatamente per esplorare alberi di gioco. Nel 1977 uno studente di Berkley, O. Babaoglu (oggi docente dell'Università di Bologna) progettò un circuito capace di funzionare come generatore di mosse. Poco dopo venne progettata nei Laboratori Bell da J. Condon e K. Thompson una nuova macchina, chiamata con poca fantasia Belle. Nel 1972 i



due ricercatori avevano scritto per uno dei primi sistemi Unix un programma che si era comportato senza infamia e senza lode ai vari tornei cui aveva partecipato. Dopo la pubblicazione della tesi di Babaglù i due ricercatori decisero che valeva la pena di sviluppare una macchina concepita appositamente per gli Scacchi, in cui lo sviluppo delle varianti veniva calcolato direttamente da alcuni circuiti in hardware.

Belle conseguì rapidamente in tornei ufficiali della USCF il grado di Maestro di Scacchi (2200 punti Elo). Una prima pietra miliare nella storia del gioco artificiale era stata raggiunta: i successi di Belle, e la simultanea nascita di un ricco mercato per le macchine commerciali, diedero finalmente una certa credibilità sportiva alle ricerche sul gioco artificiale. Nel 1981 la Federazione Internazionale degli Scacchi (FIDE) riconobbe l'affiliazione dell'International Computer Chess Association (ICCA), un'associazione che raccoglie tutti gli scienziati che si interessano di informatica scacchistica. L'ICCA si occupa di organizzare tutte le manifestazioni agonistiche in cui sono coinvolti giocatori artificiali. È a cura dell'ICCA l'organizzazione della conferenza triennale *Advances in Computer Chess*, l'unica conferenza scientifica dedicata totalmente ad un gioco. Tra il 1982 ed il 1985 vennero inoltre organizzate a Milano tre conferenze sui giocatori artificiali intitolate «*L'Intelligenza Artificiale ed il Gioco degli Scacchi*», a cura di M. Somalvico e B. Pernici, del Politecnico di Milano.

All'inizio degli anni '80 gli studi sui giocatori artificiali ricevettero nuova linfa. I progettisti di giocatori artificiali cominciarono ad esplorare le possibilità di una nuova tecnologia, quella del *calcolo parallelo*. L'idea alla base del calcolo parallelo è ingannevolmente semplice: se un programma è computazionalmente complesso, due processori sono meglio di uno, perché possono effettuare una doppia quantità di calcoli. In realtà per la maggior parte dei programmi esistono grossi problemi di coordinamento delle operazioni: in molti casi non si ottiene nessun guadagno usando più processori invece di uno solo, perché essi perdono molto tempo a comunicarsi risultati intermedi ed a sincronizzare i rispettivi compiti. Nel caso degli Scacchi è possibile sfruttare abbastanza facilmente la potenza computa-

zionale superiore delle architetture multiprocessore. Infatti, nel 1983 a New York il Campionato del Mondo per computer fu vinto da Cray Blitz, un programma che si avvantaggiò della potenza del calcolatore parallelo Cray-1, che era allora il sistema di elaborazione più potente del mondo. Cray Blitz fu il secondo giocatore artificiale capace di guadagnarsi il titolo di Maestro, e dominò la scena per la prima metà degli anni '80.

Sia Belle che Blitz usavano programmi basati sul concetto di *espansione cieca dell'albero di gioco* (strategia A): gli anni '70 erano stati dominati da programmi basati su espansione euristica, ma ormai l'hardware era diventato così veloce da permettere lunghe analisi per forza bruta. Nel 1985 però si affacciò sulla scena Hitech, un programma di H. Berliner, che si basava ancora su euristiche. Sin dal suo apparire Hitech guadagnò una valutazione record di 2220 punti Elo Usa, e inoltre nel NACC Hitech sconfisse Cray Blitz. L'anno successivo, nel 1986, Hitech valeva già 2360 punti Elo. Per qualche tempo sembrò che l'approccio «intelligente» scelto da Berliner fosse quello giusto. Invece, nel 1987 apparve una nuova macchina basata sul principio dell'analisi per forza bruta, Chiptest, che vinse il NACC di quell'anno a punteggio pieno. Chiptest era stata progettata alla stessa università di Berliner, la Carnegie Mellon, dal cinese Hsu, studente di ingegneria elettronica, che collaborava con uno studente di Berliner, M. Campbell, esperto di Scacchi. L'anno successivo Hsu e Campbell battezzarono il nuovo prototipo di Chip-Test con un nuovo nome: Deep Thought, dal nome di un personaggio di un libro di fantascienza (la Guida Galattica degli Astrostoppisti di D. Adams). Generando 700.000 posizioni al secondo grazie al suo generatore hardware, Deep Thought era in grado di analizzare tutti i seguiti possibili di una certa posizione ad una profondità media di 10 semimosse in apertura (anche con un libro di aperture estremamente ridotto) e 9 semimosse nel mediogioco.

Nel 1990 sia Hsu che Campbell vennero assunti dai laboratori di ricerca di IBM a Yorktown, e lì svilupparono la macchina che oggi conosciamo col nome di Deep Blue, e che nel 1997 ha battuto a New York il Campione del Mondo, il russo Garry Kasparov. La Fig. 8

riassume le tappe salienti della storia di Deep Blue, che purtroppo oggi non esiste più per scelta della IBM.

- 1985: Hsu, un dottorando a CMU, progetta ChipTest, un coprocessore VLSI per Sun che analizza 50.000 pos/sec.
- 1988: nasce Deep Thought, che contiene 250 chip e due processori, e analizza 750.000 pos/sec.
- 1988: Deep Thought batte per la prima volta in torneo un GranMaestro (Larsen).
- 1989: Deep Thought diventa campione del mondo dei computer.
- 1989: IBM acquisisce il team Deep Thought e inizia il progetto Deep Blue; una versione sperimentale (2M pos/sec) gioca e perde 2-0 contro Kasparov.
- 1996: Kasparov vince 4-2 contro DeepBlue (100M pos/sec).
- 1997: Kasparov *perde* 3.5-2.5 contro DeepBlue (200M pos/sec).
- 1998: DeepBlue viene smantellata.

Fig. 8. – Piccola storia di Deep Blue.

## 5. – Come funziona un Campione del Mondo.

Analizziamo brevemente i dati del problema, e vediamo come è stato «risolto» dai progettisti di Deep Blue. Il gioco degli Scacchi è *finito*, a 2 giocatori, a *informazione completa*, ovvero

- ci sono due avversari che alternano le mosse e conoscono in ogni istante le stesse informazioni, cioè hanno informazione completa sullo «stato del gioco», che in un programma sarà rappresentato da una matrice con una qualche codifica dei pezzi;
- ad ogni turno di gioco le mosse ammesse dalle regole sono in numero limitato e ben definite; in un programma le regole possono essere codificate da equazioni che data una posizione in forma matriciale restituiscono una lista di mosse possibili;
- la partita termina con la vittoria di uno dei due giocatori, oppure in parità.

Anche con un computer talmente veloce da poter analizzare un miliardo di mosse al secondo (Deep Blue aveva «quasi» questa capa-

cità), servirebbero circa  $10^{105}$  anni per analizzare tutte la partite possibili: l'esplosione combinatoria impedisce di usare questo approccio. La soluzione universalmente adottata nei programmi di gioco è di fermare la generazione delle mosse ad un certo livello di profondità dell'albero, proporzionalmente alla potenza di calcolo disponibile, di applicare una euristica sulle foglie dell'albero (che sono posizioni in genere non di matto) e poi di valutare i nodi interni mediante Minimax (o meglio mediante una sua ottimizzazione chiamata Algoritmo Alfabeta).

Un esempio del funzionamento di Minimax è descritto nelle Fig. 9 e 10. L'algoritmo inizia valutando con la funzione di valutazione tutte le posizioni del livello più profondo dell'albero. A questo punto l'algoritmo «trasmette» verso l'alto i valori delle posizioni successive usando la regola minimax.

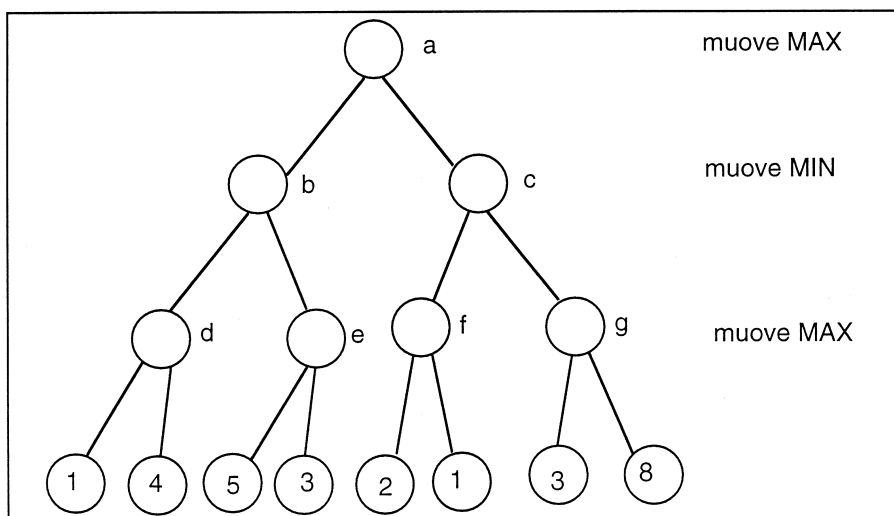


Fig. 9. - Situazione iniziale dell'algoritmo Minimax.

Ad esempio, la posizione **d**, in cui deve muovere MAX, ottiene il valore 4, che è il massimo tra i valori delle posizioni successive. La posizione **e** ottiene il valore 5 per lo stesso motivo. La posizione **b**, in cui deve muovere MIN, ottiene il valore 4, che è il minimo

tra i valori delle sue posizioni successive. La situazione finale, in cui la radice ha ottenuto un valore, è schematizzata in Fig. 10.

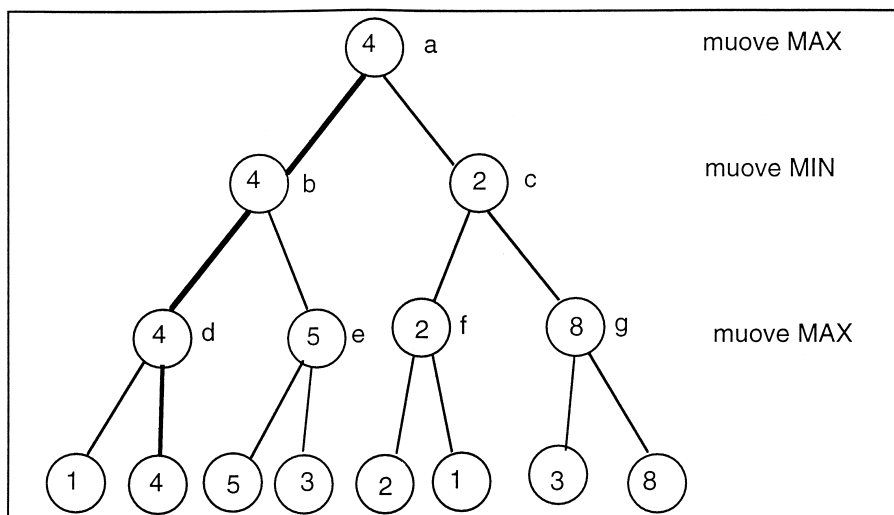


Fig. 10. – Risultato di MINIMAX; le linee in evidenza indicano la variante principale (a-b-d).

La variante principale è quindi composta dalle mosse che legano le posizioni a-b-d, e la mossa da giocare è quella che porta da a in b.

L'ipotesi grazie alla quale questo algoritmo funziona è che più è profondo l'albero da valutare, più è precisa la valutazione della mossa da giocare. Dal punto di vista teorico questa ipotesi non è mai stata dimostrata, ed anzi alcuni studi tenderebbero addirittura a dimostrare l'ipotesi contraria, che cioè più è profondo l'albero, meno precisa risulta la valutazione offerta dall'algoritmo. In effetti in un albero molto grosso le posizioni del livello finale saranno molto diverse tra loro, e quindi sarà difficile paragonarle. D'altra parte i risultati empirici confermano che, fissato un dato programma, macchine più veloci che possono valutare alberi più profondi giocano meglio di macchine meno veloci. A questo proposito K. Thompson effettuò un esperimento con la sua macchina Belle. Fece giocare un torneo tra sei diverse versioni; l'unica differenza tra i programmi era la profondità di analisi dell'albero di gioco, che variava tra 4 e 9 semimos-

se. Ogni incontro comprendeva 20 partite. La Tabella 1 riassume i risultati del torneo.

TAB. 1. – Incremento di forza in funzione della profondità di analisi secondo Thompson.

	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Elo
P4	—	5	0.5	0	0	0	1235
P5	15	—	3.5	3	0.5	0	1570
P6	19.5	16.5	—	4	1.5	1.5	1826
P7	20	17	16	—	5	4	2031
P8	20	19.5	18.5	15	—	5.5	2208
P9	20	20	18.5	16	14.5	—	2328

Come si vede, un incremento di profondità nell'analisi minimax pari a una semimossa comporta in media un incremento nella forza di gioco di quasi 200 punti Elo.

Si confronti questa tabella con quella ottenuta da un diverso esperimento di J. Schaeffer, che non variava la profondità di analisi del programma, ma solo la sua «conoscenza», cioè l'importanza della funzione di valutazione [Schaeffer 1986]. Schaeffer effettuò una serie di esperimenti per valutare il bilanciamento relativo dei vari fattori componenti una funzione di valutazione. Egli usò il suo programma Phoenix per giocare un torneo cui partecipavano varie versioni del programma stesso, che differivano per la funzione di valutazione utilizzata. La versione di riferimento (che chiameremo versione 1), tentava semplicemente di massimizzare il materiale. Le altre erano via via arricchite come segue:

versione 2: mobilità e spazio nemico: mosse pseudolegali + controllo delle case nella metà avversaria della scacchiera.

versione 3: controllo del (grande) centro;

versione 4: struttura pedonale: penalizzazioni per pedoni isolati o doppiati;

versione 5: valutazione incrementale di mosse: catture di pedone verso il centro, torre in settima, sviluppo di un pezzo, arrocco;

versione 6: sicurezza del Re;  
 versione 7: case deboli e pedoni passati;  
 versione 8: pianificatore strategico.

Le otto versioni del programma giocarono lungamente tra di loro, ed i risultati sono riassunti nella Tab. 2.

TAB. 2. – Confronto della forza Elo tra diverse funzioni di valutazione.

Struttura della funzione di valutazione	Valutazione Elo
versione 1: solo conteggio del materiale	1110
versione 2: vers. 1 + valutazione mobilità e spazio	1420
versione 3: vers. 2 + valutazione controllo del centro	1530
versione 4: vers. 3 + valutazione struttura pedonale	1600
versione 5: vers. 4 + bonus mosse «aggressive»	1630
versione 6: vers. 5 + sicurezza del Re	1750
versione 7: vers. 6 + case deboli e Pedoni passati	1760
versione 8: vers. 7 + pianificazione	1780

Confrontando i due esperimenti si intuisce che si guadagna molto di più a migliorare la velocità di analisi di un programma che non la sua conoscenza specifica della strategia scacchistica.

I grandi successi dei giocatori artificiali si sono verificati a partire dagli anni '80, quando i progressi delle tecnologie VLSI hanno permesso il progetto di hardware specializzato per la generazione di mosse [Ciancarini 1992].

TAB. 3. – Numero di posizioni per secondo analizzate da alcuni programmi e relativo hardware.

Macchina	Posizioni/sec	HW
Ananse	6.000	486/66
MChess	10.000	Pentium 90
Amy	10.000	Sparc10
Arthur	20.000	Sparc20
Cray Blitz	750.000	Cray C90
*Socrates	1.000.000	CM5 / 512
DeepThought 2	4.000.000	IBM/6000
Deep Blue	200.000.000	SP/2 (24 processori) + 512 chip speciali

Deep Blue consiste di una macchina «general purpose» parallela, uno SP/2 con 24 processori, che controllano 512 processori specializzati per la generazione delle mosse [Hsu 1999]. Ciascun processore specializzato analizza circa 1 milione di posiz/secondo, e complessivamente i 512 processori arrivano ad una capacità di analisi di circa 200 milioni di posiz/se. Questo permette a Deep Blue di esplorare alberi profondi 12/14 semimosse in circa 3 minuti, il tempo medio per mossa di torneo.

Un'importante misura dell'efficienza di un algoritmo parallelo è lo speedup. Questo parametro è definito come il rapporto tra il tempo di esecuzione di una implementazione sequenziale *efficiente* di un algoritmo e quello di una sua versione parallela [Schaeffer 89]. L'obiettivo ideale è di ottenere valori per lo speedup che aumentino linearmente con il numero di processori usati. Purtroppo questo risultato è difficile da ottenere per gli algoritmi paralleli di ricerca su alberi di gioco. Esistono infatti diversi motivi di degrado delle prestazioni di questa classe di algoritmi che vengono indicati con il termine overhead [Ciancarini 1994].

L'*overhead in tempo* (OT) esprime una misura quantitativa dell'overhead totale: è la perdita percentuale di speedup confrontata con lo speedup ideale. È espressa come:

$$OT = (\text{tempo con } N \text{ CPU}) \cdot \frac{N}{\text{tempo con } 1 \text{ CPU}}.$$

L'overhead totale è in realtà composto da più componenti:

- Overhead di ricerca (OR): in ambiente sequenziale tutte le informazioni ricavate fino ad un dato punto della ricerca sono disponibili per effettuare decisioni quali il taglio di un sottoalbero. In ambiente di calcolo distribuito le stesse informazioni possono essere disperse su macchine diverse e quindi non completamente utilizzabili: ciò può portare ad una esplorazione non necessaria di una porzione dell'albero di gioco. La crescita delle dimensioni dell'albero è chiamata overhead di ricerca. Tale forma di degrado può essere approssimata osservando che la dimensione dell'albero esplorato è propor-



zionale al tempo di ricerca. OR è più precisamente calcolato dalla relazione:

$$OT = \frac{\text{nodi visitati da } N \text{ CPU}_s}{\text{nodi visitati da } 1 \text{ CPU}} - 1.$$

- **Overhead di comunicazione (OC):** è il carico addizionale che un programma parallelo deve sopportare quando è impiegato tempo non trascurabile per la comunicazione dei messaggi fra i processi. Questo costo può essere limitato in fase di programmazione scegliendo opportunamente le dimensioni e la frequenza dei messaggi. Una stima di OC è data dal prodotto fra il numero di messaggi inviati e il costo medio di un messaggio.

- **Overhead di sincronizzazione (OS):** è il costo che occorre quando alcuni dei processori sono inattivi. In teoria tutti i processori dovrebbero essere occupati nello svolgere lavoro utile per tutto il tempo di esecuzione. Nella realtà questo comportamento ideale viene meno quando un processo deve sincronizzarsi con un altro determinando attesa attiva. Potrebbe accadere ad esempio che un processo P voglia agire su un valore condiviso in mutua esclusione, mentre un altro processo Q sta già operando su tale valore. Il processo P rimarrà bloccato (e quindi inattivo) fintanto che Q non abbia completato la sua operazione. Tale overhead può presentarsi anche quando un processo è in attesa che certi risultati, senza i quali non può continuare, gli siano forniti da un altro.

L'overhead complessivo OT è funzione delle tre forme di overhead elencate:

$$OT = f(OR, OC, OS)$$

Per massimizzare le prestazioni di un algoritmo parallelo è quindi necessario minimizzare i vari tipi di overhead. Purtroppo essi non sono mutuamente indipendenti e lo sforzo nella minimizzazione di uno di essi può risultare nell'aggravio di un altro. Ad esempio, la riduzione dell'overhead di ricerca richiede normalmente un aumento del numero delle comunicazioni. Esistono comunque diverse fonti di parallelismo nella ricerca di alberi di gioco le quali hanno originato

approcci completamente differenti al processo di parallelizzazione della ricerca sequenziale [Ciancarini 1994].

## 6. – Conclusioni.

Nel 1957, Herbert Simon fece una famosa predizione: «Entro 10 anni un computer digitale sarà campione del mondo di scacchi, a meno che le regole non gli impediscano di competere». Nel 1968 quattro professori di Intelligenza Artificiale scommisero che entro dieci anni un computer programmabile avrebbe battuto il maestro Levy. Nel 1978 Levy affermò: «Entro dieci anni la vera notizia sarà che un umano normale ha battuto a Scacchi un computer». Sappiamo com'è andata: Levy aveva visto giusto, ma Simon ed i suoi colleghi alla fine ce l'hanno fatta, anche se con qualche decennio di ritardo.

La ricerca sul gioco artificiale è ritenuta tuttora da alcuni studiosi di grande importanza per lo sviluppo della teoria e della tecnologia delle intelligenze artificiali. Secondo il britannico Donald Michie

*«la costruzione di giocatori artificiali di Scacchi, una ricerca di tipo tecnologico ma che ha una portata che va ben al di là della pura tecnologia, è oggi la ricerca scientifica più importante del mondo. Possiamo confrontarla con le ricerche fatte da T. Morgan a New York durante la Prima Guerra Mondiale sulla Drosophila. Queste ricerche primitive hanno avuto un impatto inimmaginabile sulle basi teoriche della genetica moderna. Ci accorgiamo oggi delle conseguenze industriali dell'ingegneria genetica, che è figlia delle ricerche di Morgan. Stiamo oggi usando l'analisi scientifica del gioco degli Scacchi come studio preliminare per la futura ingegneria della conoscenza.»*

Tuttavia, anche se l'intelligenza artificiale può guadagnare ancora molto dall'approfondimento di ricerche sui giochi, non c'è dubbio che il risultato di DeepBlue va considerato in primo luogo un successo della ricerca sul calcolo parallelo, anche se alcuni studiosi si sono lamentati del fatto che i media hanno inquadrato l'evento trascurando il contributo dell'Intelligenza Artificiale. A noi preme sottolineare comunque la straordinarietà dell'evento: si è avverato un sogno vecchio di duecento anni, quando lo pseudo-automa scacchista di

Von Kempelen, il Turco, visitava le corti d'Europa e sfidava i grandi.

Va detto inoltre che il successo di DeepBlue potrebbe rivelarsi episodico. In altre parole, se il Campione del Mondo ottenesse la rivincita che ha già chiesto più volte, potrebbe vincerla. Nel 1997 DeepBlue ha vinto di stretta misura, solo due partite su sei, ed in entrambi i casi più per demerito dell'avversario che per merito proprio (ma questo è normale: uno scacchista famoso disse una volta che di solito vince chi commette il penultimo errore!).

Comunque, se consideriamo la vittoria di DeepBlue su Kasparov come il conseguimento di un obiettivo di ricerca da lungo tempo perseguito, è naturale domandarsi come si orienterà la ricerca in futuro. Ovviamente esistono innumerevoli altri giochi più complessi degli Scacchi, ad esempio il Go o gli Scacchi cinesi. Tuttavia, noi crediamo che la ricerca sui giochi ad informazione completa a due giocatori abbia ricevuto un colpo mortale. Infatti, tutti i giochi finiti soggetti al Teorema del Minimax sono fatalmente destinati a soccombere alla potenza di calcolo. La dama ad esempio è un gioco praticamente «risolto», ed il Campione del Mondo è da tempo una macchina (Chinook). Allo stesso tempo, crediamo che siano i giochi ad informazione incompleta ad  $n$  giocatori quelli che debbono essere studiati in futuro. Questi giochi, che si adattano facilmente ad Internet, creano situazioni molto complesse che hanno bisogno sia di teorie innovative sia di una combinazione di tecniche per poter essere dominate con successo.

#### BIBLIOGRAFIA

- ATKINSON G., *Chess and Machine Intuition*, Ablex, 1993.  
BINET A., *Psychologie des Grand Calculateurs et Joueurs d'Echecs* Hachette, 1894.  
BONSDORFF E. - FABEL K. - RIIHIMAA O., *Schach und Zahl*, Rau Verlag, 1971.  
BRATKO I., *Prolog Programming for AI*, AddisonWesley, 1985.  
CIANCARINI P., *Giocatori artificiali*, Mursia 1992.

- CIANCARINI P., *Distributed Searches: A Basis for Comparison*, Journal of the Intern. Computer Chess Association, **14:4** (1994), 194-206.
- CURZIO M., *Scacchi, Matematici e Matematica*, Archimede, LeMonnier, **78:1** (1981), 1-13.
- DOXIADIS A., *Zio Petros e la congettura di Goldbach*, Bompiani, 2000.
- GIK J., *Schach + Mathematik*, Edizioni MIR, Mosca, 1986.
- HARDY G., *Apologia di un matematico*, Cambridge Univ. Press, 1940 (ed. it. Garzanti, 1989).
- HODGES A., *A. Turing: the Enigma*, Simon & Schuster, 1983 (Ed. It. Boringhieri).
- HSU F., *The chips of Deep Blue*, *IEEE Micro*, March-April, 1999.
- VON JÄNISCH K., *Traité des Applications de l'Analyse Mathématique au Jeu des Echecs*, S. Pietroburgo, 1863.
- LARSON L., *A Theorem about Primes proved on a Chessboard*, *Mathematics Magazine*, **50:2** (1977), 69-74.
- LASKER EM., *Zur Theorie der Moduln und Ideale*, *Mathematische Annalen*, **60:20-116**, 1905.
- LOSANO M., *Storie di Automi*, Einaudi 1990.
- MCGREW T., *Collaborative Intelligence*, *IEEE Internet Computing*, **1:3** (1997), 38-42.
- MURRAY H., *A History of Chess*, Oxford University Press, 1911.
- PETKOVIC M., *Mathematics and Chess*, Dover, 1997.
- ROBISON A. - HAFNER B. - SKIENA S., *Eight Pieces Cannot Cover a ChessBoard*, *Computer Journal*, **32:6** (1989), 567-570.
- SIMON H., *Models of my Life*, Harper Collins, 1991.
- SHAEFFER J., *Experiments in Search and Knowledge*, PhD Thesis, Univ. of Alberta, Canada, 1986.
- SHANNON C., *Programming a Computer for Playing Chess*, *Philosophical Magazine*, **41** (1950), 256-275 (ristampato in D. Levy, *Computer Chess Compendium*, Batsford, 1988).
- TURING A., *Digital Computers Applied to Games*, in Bowden B. (ed.), *Faster than thought: a Symposium on digital computing machines*. Pitman 1953 (ristampato in D. Levy, *Computer Chess Compendium*, Batsford, 1988).
- ZERMELO E., *An Application of Set Theory to the Theory of Chess-playing*, Proc. 5th Int. Congress of Mathematics, Cambridge, 1912.