

## Esercizio 1: Spin glass

Il problema si formula associando una variabile binaria ad ogni particella, indicante l'orientamento (spin) della stessa. Poiché non ci sono vincoli, tutte le configurazioni degli spin sono ammissibili. La funzione obiettivo è quadratica, poiché contiene tanti addendi quante le coppie di particelle, ciascuna delle quali dà un contributo positivo o negativo alla somma complessiva a seconda dell'orientamento.

Si tratta quindi di un problema di programmazione quadratica, caso particolare della programmazione non lineare.

La formulazione è contenuta nel file SPIN1.LG4. Essa contiene 10 variabili binarie  $x$  e 100 coefficienti  $e$  di interazione (matrice  $10 \times 10$ ). La matrice dei coefficienti si ricava per simmetria dai coefficienti dati nel file SPIN.TXT, aggiungendo elementi nulli sulla diagonale principale (poiché ogni particella ha interazione nulla con se stessa). Ogni coefficiente  $e(i,j)$  deve esser moltiplicato per 1 o -1 a seconda che sia  $x(i)=x(j)$  o  $x(i) \neq x(j)$ . Un modo per ottenere tale effetto è di moltiplicare tra loro le quantità  $x(i)-0.5$  e  $x(j)-0.5$ . Il prodotto può essere uguale solo a +0.25 o -0.25 e quindi moltiplicandolo per 4 si ottiene il coefficiente +1 o -1 per cui moltiplicare  $e(i,j)$ . La funzione obiettivo così calcolata, va poi dimezzata perché altrimenti la stessa interazione sarebbe calcolata due volte, una per la coppia  $(i,j)$  e una per la coppia  $(j,i)$ . Inoltre va cambiata di segno, perché i contributi positivi devono corrispondere a particelle con orientamento opposto.

Tutte e 10 le variabili sono dichiarate binarie.

La soluzione calcolata da LINGO (file SPIN1.LGR) prevede le particelle 1, 2, 5, 6, 8, 10 orientate in un modo e le particelle 3, 4, 7, 9 orientate nell'altro. Il programma garantisce che si tratta della soluzione ottima.

La seconda parte dell'esercizio non cambia le variabili, né introduce vincoli, ma aggiunge un ulteriore termine alla funzione obiettivo. Questo secondo termine è lineare, poiché ogni particella interagisce con il campo magnetico esterno indipendentemente dalle altre. La nuova formulazione è nel file SPIN2.LG4. Ai dati viene aggiunto il vettore dei coefficienti  $c$  di interazione col campo esterno. Alla funzione obiettivo viene aggiunta la somma dei 10 contributi dati dal prodotto tra il coefficiente dato e la grandezza  $2 \cdot (x(i)-0.5)$ , che vale +1 o -1 a seconda che  $x(i)$  valga 0 o 1.

La soluzione ottima calcolata da LINGO (file SPIN2.LGR) prevede che le particelle 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10 siano orientate in un senso e le particelle 2, 4, 6 nell'altro.