Un modello della corsa agli armamenti

Bruno Jannamorelli

Riassunto Il modello qui presentato aiuta a comprendere la dinamica della corsa agli armamenti con strumenti matematici molto semplici (disequazioni di primo grado a due incognite). Mediante questo modello è possibile capire in modo più rigoroso perché si scatena la corsa agli armamenti a causa della segretezza delle informazioni militari o dell'introduzione di nuove armi.

Abstract The model presented here helps to understand the dynamics of the arms race with very simple mathematical tools (first degree inequalities with two unknowns). With this model, it is possible to understand more rigorously why the arms race is unleashed due to secrecy of military information or to introduction of new weapons.

Bruno Jannamorelli jannab@tiscali.it
Dip. di Scienze Umane, C di L. di Scienze della Formazione Primaria, Univ. L'Aquila

Io non so come sarà combattuta la terza guerra mondiale,
ma posso dirvi che cosa useranno nella quarta: pietre!
Albert Einstein

PRESENTAZIONE DEL MODELLO

La Matematica ha avuto da sempre un ruolo rilevante nella guerra. Ad esempio, Platone nel settimo capitolo della Repubblica sostiene che *la conoscenza del calcolo e dei numeri* sia necessaria al guerriero *se egli vuole capire qualcosa di tattica*. E più avanti mette in bocca a Glaucone nel dialogo con Socrate: *Per quanto attiene alla guerra … corre molta differenza tra l'essere esperti o meno di geometria quando si tratta di porre l'accampamento, occupare postazioni …* . Dall'organizzazione delle manovre militari degli antichi greci, purtroppo, siamo giunti all'applicazione della matematica nella progettazione delle guerre stellari. Il semplice modello matematico che viene qui presentato vuole essere un modesto risarcimento dei danni prodotti dai matematici nella preparazione della guerra. È un modello che fa riflettere sulle condizioni per preparare la pace (Zane, 1982).
Per semplicità vengono prese in considerazione solo le armi più rilevanti da un punto di vista strategico, quelle nucleari, possedute da due potenze A_1 e A_2 assumendo che entrambe si comportino razionalmente e facendo inoltre le seguenti ipotesi:
• Ognuna delle parti in gioco si ritiene soddisfatta del proprio armamento se può sostenere un attacco nemico a sorpresa avendo ancora armi a sufficienza per la ritorsione, cioè se è in grado di infliggere alla parte avversa una distruzione pari a quella ricevuta. Questo tipo di strategia bellica viene chiamata «mutua distruzione assicurata» (in sigla MAD che, ironia della sorte, in inglese significa *pazzo*). Ma come si stabilisce il numero di armi sufficienti a garantire la MAD? Si potrebbe ritenere che la mutua distruzione sia assicurata quando, in caso di attacco nemico, si riesca a salvare un numero di armi nucleari sufficienti a distruggere le più importanti città nemiche. Si prenda ad esempio l'Italia: se solo sei bombe distruggessero Torino, Milano, Genova, Bologna, Roma e Napoli, il 10% della popolazione italiana morirebbe

all'istante, ci sarebbero milioni di feriti da curare, i cadaveri insepolti porterebbero malattie infettive, tutti i servizi centralizzati verrebbero distrutti (energia elettrica, carburanti, comunicazioni, apparato amministrativo e militare), l'approvvigionamento alimentare sarebbe sconvolto (il latte e le verdure diventerebbero radioattive) e si arriverebbe al cinismo per procurarsi da mangiare. Allora se sei bombe H bastano per ridurre l'Italia all'età della pietra, 100 sono più che sufficienti per l'Europa o anche per la Russia, la Cina o gli USA.

Si potrebbe quindi pensare che giunti a 100 o anche a 200 bombe nucleari le potenze potrebbero arrestare la corsa agli armamenti. Ma vedremo che questo è un pensiero ingenuo.

• Supponiamo che nessuna delle due parti voglia accettare un ruolo d'inferiorità.

• Consideriamo soltanto i missili intercontinentali basati a terra (ICBM), e questa è senz'altro un'ipotesi riduttiva che però non influisce sulla validità del modello.

Sia k_1, una certa misurazione del danno totale che A_1 può infliggere ad A_2 per ritorsione, cioè dopo che A_2 ha attaccato il potenziale offensivo di A_1. Il numero k_1 è, in teoria, calcolabile considerando il numero di abitanti delle città nemiche più grandi, il probabile numero di missili di A_1 rimasti efficienti dopo l'attacco di A_2, la precisione dei missili di A_1 e il tipo di difesa di A_2.

Il numero k_2 è definito analogamente scambiando A_1 con A_2.

Sia x_1, il numero di missili di A_1 e x_2 quello di A_2.

Se A_2 decide di attaccare A_l gli lancerà contro i suoi x_2 missili che riusciranno a distruggere una parte degli x_1 missili di A_l. Il numero di missili distrutti dipenderà dalla loro vulnerabilità cioè dalla resistenza dei silos sotterranei che li contengono, dalla potenza e dalla precisione delle testate di A_2.

Se chiamiamo v_1 il coefficiente di vulnerabilità dei missili di A_l , che rappresenta la probabilità che hanno i missili di A_2 di colpire quelli di A_l , allora il numero di missili di A_l distrutti da un attacco di x_2 missili di A_2 è v_1x_2.

Quindi $x_1 - v_1\, x_2$ è il numero di missili che restano ad A_l per la ritorsione.

Indicando con d_1 l'effettivo potere distruttivo di ciascun missile di A_l sopravvissuto, possiamo esprimere il potere distruttivo k_1, che la potenza A_l ha a disposizione per la ritorsione, in funzione del numero di missili x_l e x_2

posseduti dalle due potenze:

$$(1.a) \qquad k_1 = d_1(x_1 - v_1 x_2) \quad .$$

Analogamente k_2 può essere espresso alla maniera seguente:

$$(1.b) \qquad k_2 = d_2(x_2 - v_2 x_1) \quad .$$

CRITERIO DI SODDISFAZIONE

La potenza A_1 si sentirà «difesa» se, dopo l'attacco di A_2, avrà a disposizione un numero di missili sufficiente a infliggere al nemico una distruzione s_1, che la soddisfa. Analogamente si definisce s_2 per la potenza A_2.
Allora A_1 sarà soddisfatta se $k_1 \geq s_1$, mentre A_2 lo sarà se $k_2 \geq s_2$. Dalle equazioni *(1.a), (1.b)* nelle variabili x_1 , x_2 si ottengono le disequazioni:

$$d_1(x_1 - v_1 x_2) \geq s_1$$

$$d_2(x_2 - v_2 x_1) \geq s_2$$

Ovvero:

$$(2,a) \qquad (x_1 - v_1 x_2) \geq \frac{s_1}{d_1}$$

$$(2,b) \qquad (x_2 - v_2 x_1) \geq \frac{s_2}{d_2}$$

che forniscono rispettivamente la retta di soddisfazione di A_1 e di A_2.

Esempio 1

Supponiamo che ognuna delle due potenze abbia missili intercontinentali aventi ciascuno la probabilità dell'80% di distruggere un missile nemico ($v_1 = v_2 = 0{,}8$). Poniamo $d_1 = d_2 = 1$: questo equivale a normalizzare k_1 , e k_2 in unità di missili.
Supponiamo inoltre che ogni parte sia soddisfatta se, dopo un attacco nemico, le sono rimasti *100* missili, cioè $s_1 = s_2 = 100$. Si ottengono le due disequazioni:

$$(3.a) \qquad x_1 - 0{,}8 x_2 \geq 100$$

$$(3.b) \qquad x_2 - 0{,}8 x_1 \geq 100$$

In un piano x_1, x_2 disegniamo le due rette r_1, r_2 di equazioni:

r_1: $x_1 - 0{,}8x_2 = 100$ cioè $x_2 = \frac{1}{0{,}8}x_1 - \frac{100}{0{,}8}$

r_2: $x_2 - 0{,}8x_1 = 100$ cioè $x_2 = 0{,}8x_1 + 100$

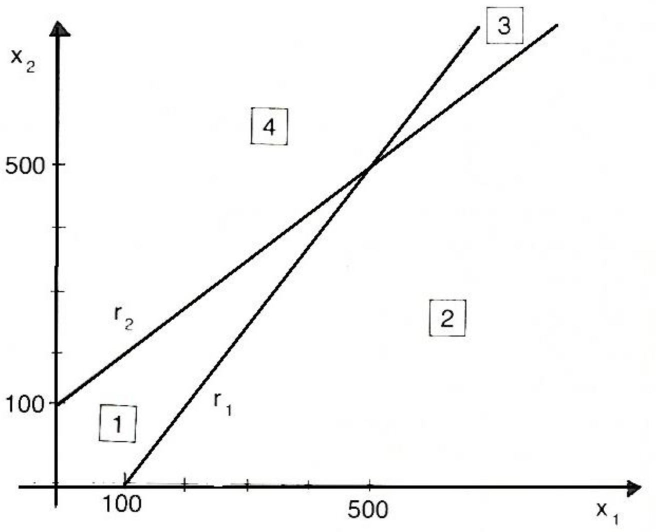

Fig.1

Le disequazioni *(3, a)* e *(3, b)* possono essere scritte

(3, a') $x_2 \leq \frac{1}{0{,}8}x_1 - \frac{100}{0{,}8}$

(3, b') $x_2 \geq 0{,}8x_1 + 100$.

Dal grafico della Fig.1 si osserva che le situazioni soddisfacenti per la potenza A_1 sono quelle rappresentate dai punti del piano x_1, x_2 al disotto della retta r_1 o, al più, dai punti appartenenti alla retta r_1 . Le situazioni soddisfacenti per A_2 sono invece quelle rappresentate dai punti del piano al disopra della retta r_2 o, al più, dai punti della retta r_2 .

Allora ogni punto della regione $\boxed{1}$ rappresenta una situazione che non soddisfa né A_1 né A_2 e quindi entrambe si sforzano di aumentare il proprio arsenale se si trovano in una di queste situazioni (ad esempio se $x_1 = 150$, $x_2 = 150$).

Ogni punto della regione $\boxed{2}$ rappresenta una situazione che va bene per A_1 ma non per A_2 e così, viceversa, per i punti della regione $\boxed{4}$.
Nella regione $\boxed{3}$ ci sono invece punti che rappresentano situazioni che soddisfano entrambe le potenze, perché in questi casi ad ognuna restano almeno 100 missili per vendicarsi dopo un attacco nemico e possono quindi arrestare la corsa agli armamenti.
Il punto più basso di soddisfazione è rappresentato dall'intersezione delle due rette ($x_1 = x_2 = 500$). In questa situazione ogni potenza resta con 100 missili dopo un attacco nemico. Ma per questo scopo ognuna deve averne in partenza 500.

Osservazione. Il punto di intersezione delle due rette di soddisfazione r_1 e r_2 , detto «punto di stabilità», potrebbe non esistere. Questo avviene quando r_1 e r_2 sono parallele, cioè quando le loro pendenze sono uguali: $1/v_1 = v_2$. In tal caso è impossibile per entrambe le parti essere soddisfatte contemporaneamente, il che porta ad una corsa infinita agli armamenti.
La situazione si complica quando si prendono in considerazione i vari fattori politici e tecnologici che influenzano la stabilità. Utilizziamo il modello per esaminare gli effetti dovuti ad alcuni di tali fattori:

1. Incertezza e segretezza.
2. Missili anti-missile balistico (ABM).
3. Missili a testate multiple indipendenti (MIRV).
4. Missili MX.
5. Missili Cruise.

1. Incertezza e segretezza

Il clima di sfiducia reciproca tra le due parti comporta la segretezza di ogni nuovo miglioramento tecnologico e il segreto militare sui diversi sistemi d'arma porta ognuna delle due potenze a sottovalutare l'efficacia del proprio apparato bellico e a sopravvalutare quello dell'avversario. Questa incertezza di valutazione non viene annullata dall'uso sempre più spinto dei satelliti spia che, in numero crescente, ruotano intorno alla Terra e che rappresentano la vera giustificazione della «conquista spaziale».

Ad ogni innovazione nel campo dello spionaggio si risponde con armi ancora più sofisticate: l'ultimo esempio è rappresentato dalla possibilità di armare i piccolissimi Cruise con testate nucleari o convenzionali per cui sarà impossibile individuare dallo spazio quali sono quelli nucleari. Ritornando al modello, vediamo come devono essere modificati i parametri presi in considerazione tenendo conto dell'incertezza e del segreto militare. La vulnerabilità dei missili di A_1 è misurata da v_1 ma A_1 si sentirà più tranquilla valutando i propri missili più vulnerabili di quanto in realtà sono, mentre è portata a sottovalutare l'effettivo potere distruttivo di ogni suo missile. D'altra parte, A_1 deve considerare i missili nemici meno vulnerabili e con un potere distruttivo maggiore. Quindi per la potenza A_1 il modello viene modificato nella maniera seguente: si passa da v_1 a $v_1 + e$, da d_1 a $d_1 - e$, da v_2 a $v_2 - e$ e da d_2 a $d_2 + e$.

Le disequazioni *(2.a)* e *(2.b)* diventano:

$$(4,a) \qquad x_2 \leq \frac{1}{v_1+e}x_1 - \frac{s_1}{(d_1-e)(v_1+e)}$$

$$(4,b) \qquad x_2 \geq (v_2-e)x_1 + \frac{s_2}{(d_2+e)}$$

Un ragionamento analogo vale per la potenza A_2.

Esempio 2

La potenza A_1 considera:

$$v_1 + e = 0{,}8 + e$$
$$d_1 - e = 1 - e$$
$$v_2 - e = 0{,}8 - e$$
$$d_2 + e = 1 + e$$

Le disequazioni *(3.a')* e *(3.b')* dell'esempio 1 diventano:

$$(4,a') \qquad x_2 \leq \frac{1}{0{,}8+e}x_1 - \frac{100}{(1-e)(0{,}8+e)}$$

$$(4,b') \qquad x_2 \geq (0{,}8-e)x_1 + \frac{100}{(1+e)}$$

Disegnando nel piano x_1, x_2 le due rette r_1 e r_2 dell'esempio 1 e le altre due r_1', r_2' di equazioni:

$$r_1' : \qquad x_2 = \frac{1}{0{,}8+e}x_1 - \frac{100}{(1-e)(0{,}8+e)}$$

$$r_2' : \qquad x_2 = (0{,}8-e)x_1 + \frac{100}{(1+e)}$$

si può osservare come si sposta il punto di stabilità p per la potenza A_1 (Fig. 2).

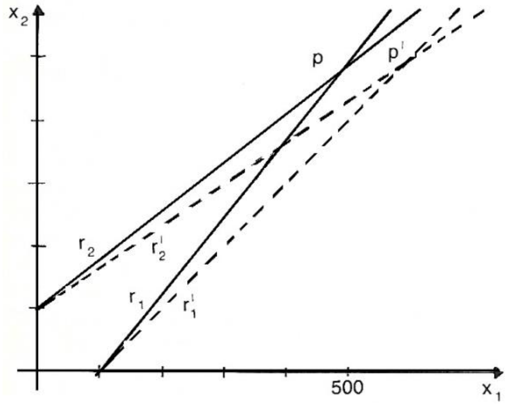

Fig. 2

Lo spostamento del punto di stabilità da P a P' indica che l'incertezza porta la potenza A_1 ad armarsi ancora di più: ritiene di aver bisogno di più di 500 missili.

Per simmetria anche la potenza A_2 è portata a spostare il punto di stabilità da P a P'', come può essere osservato in Fig. 3, e a ritenere di aver bisogno di più di 500 missili.

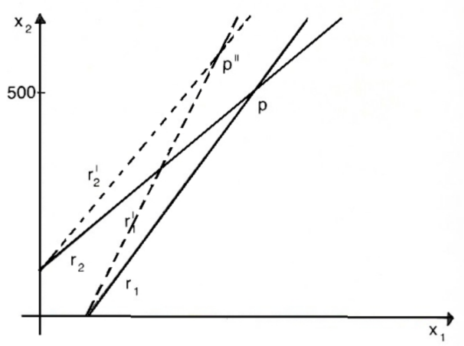

Fig.3

La conclusione è che l'incertezza e il segreto militare hanno un grande effetto destabilizzante nella corsa agli armamenti e fanno aumentare minacciosamente la probabilità di arrivare a situazioni in cui le rette di soddisfazione non si intersecano.
Nei casi che seguono vengono considerate le nuove tecnologie per stabilire in che modo esse influenzano il punto di stabilità, tralasciando l'effetto destabilizzante dovuto all'incertezza e alla segretezza, ma si tenga presente che tale effetto è sempre presente e accelera ulteriormente la corsa agli armamenti.

2. Missili anti-missile balistico (ABM)

Supponiamo che la potenza A_1 decida di costruire un sistema difensivo di missili anti-missili balistici. Anche se i tempi di realizzazione di un missile altamente sofisticato sono abbastanza lunghi, la potenza A_2 deve reagire come se A_1 stesse per arrivare subito alla costruzione degli ABM.
Quali cambiamenti si avranno nella Fig.1 in conseguenza del sistema ABM di A_1?
Il sistema difensivo può essere utilizzato per proteggere i missili offensivi oppure le città di A_1. Analizziamo separatamente i due casi, prendendo come riferimento i dati dell'esempio 1.

Esempio 3

La potenza A_1 progetta un ABM per proteggere solo i suoi missili con una efficacia del 50%.
In questo caso la probabilità di distruzione dei missili di A_1 si dimezza; quindi v_1 passa da *0,8* a *0,4* e gli altri dati restano invariati.
Le equazioni delle rette di soddisfazione per A_1 e A_2 sono rispettivamente:

$$r_1'' : \qquad x_1 - 0{,}4x_2 = 100$$

$$r_2'' : \qquad x_2 - 0{,}8x_1 = 100$$

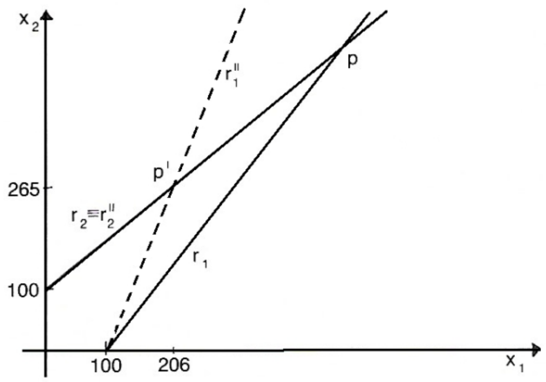

Fig. 4

Il punto di stabilità (punto di intersezione delle rette r_1'', r_2'') si ottiene per $x_1 \cong 206$, $x_2 \cong 265$.

Il sistema ABM di A_1 porta ad una riduzione del numero di missili, ma solo se A_1 decide di smantellare i missili eccedenti. Se invece ognuna delle due potenze aveva 500 missili e, dopo la costruzione dell'ABM, A_1 mantiene tutti i suoi missili, A_2 ha ancora bisogno di 500 missili ($x_2 - 0{,}8 \cdot 500 = 100$ da cui $x_2 = 500$).

Esempio 4

La potenza A_1 progetta un ABM per proteggere solo le sue città con una efficacia del 50%.

In questo caso la potenza A_2, volendo distruggere per ritorsione le città di A_1 dispone di missili con un potere distruttivo più piccolo: d_2 decresce e di conseguenza aumenta il rapporto $\frac{s_2}{d_2}$ (intercetta della retta di soddisfazione di A_2 con l'asse x_2).

Supponendo che l'efficacia dell'ABM sia del 50%, d_2 si dimezza passando da 1 a 0,5 e quindi le rette di soddisfazione di A_1 e di A_2 sono rispettivamente:

$$r_1''' : \qquad x_1 - 0{,}8x_2 = 100$$

$$r_2''' : \qquad x_2 - 0{,}8x_1 = \frac{100}{0{,}5}$$

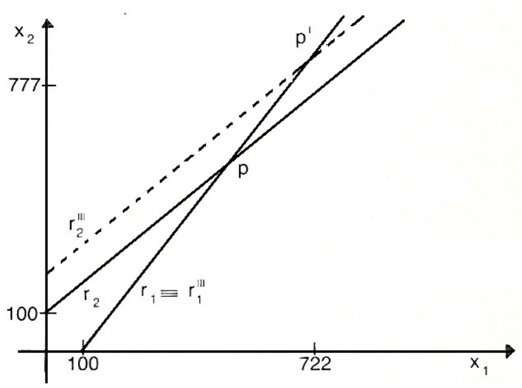

Fig. 5

Il punto di stabilità si ha per $x_1 \cong 722$, $x_2 \cong 777$.

La difesa delle città è una chiara mossa offensiva!

Anche qualcosa che sembra difensivo, come la protezione delle città, comporta una escalation nella corsa agli armamenti.

Una volta costruito, il sistema di difesa ABM può essere facilmente spostato da un luogo all'altro. Quindi anche se A_1 ha progettato la protezione solo delle città o solo dei missili inter-continentali, A_2 non si fida perché sa bene che il sistema difensivo può essere spostato.

Si ha una situazione di instabilità e A_2 reagisce. Le possibili scelte per A_2 sono diverse: sviluppo di un suo sistema ABM, impieghi offensivi per annullare l'efficacia dell'ABM nemico, e altre ancora. Ma la risposta più semplice è quella di aumentare il numero dei propri missili inter-continentali ICBM.

Esempio 5

La potenza A_1 progetta un sistema ABM per proteggere i suoi missili o le sue città con una efficacia del 50%.

In questo caso A_2 considera la vulnerabilità dei missili di A_1 dimezzata ($v_1 = 0{,}4$) e così pure il potere distruttivo dei propri missili, $d_2 = 0{,}5$.

Le equazioni delle rette di soddisfazione di A_1 e A_2 sono rispettivamente:

$$r_1^{\prime\mathrm{V}}: \qquad x_1 - 0{,}4x_2 = 100$$

$$r_2^{\prime\mathrm{V}}: \qquad x_2 - 0{,}8x_1 = \frac{100}{0{,}5}$$

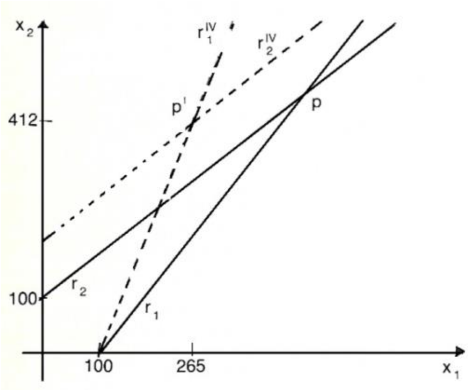

Fig. 6

Il punto di stabilità si ha per $x_1 \cong 265$, $x_2 \cong 412$. Anche in questo caso vale la stessa conclusione dell'esempio 3: se A_1 mantiene tutti i suoi 500 missili, A_2 ha bisogno di 600 missili ($x_2 = 0{,}8 \cdot 500 + 100/0{,}5 = 600$).

L'importanza di smantellare i missili non necessari non è generalmente sottolineata ma la si vede chiaramente dal nostro modello.

3. Missili a testate multiple indipendenti (MIRV)

Il MIRV è un missile che può portare 3 o 5 o addirittura 10 testate che, quando rientrano nell'atmosfera, possono colpire bersagli diversi. L'uso dei MIRV è chiaramente una mossa offensiva ed ha un grave effetto destabilizzante.

Supponiamo che A_1 costruisca un MIRV; allora la vulnerabilità v_2 dei missili di A_2 aumenta. Ogni missile a testata multipla di A_1 rappresenta una minaccia maggiore per i missili intercontinentali ICBM di A_2. In questo caso diventa concreto il pericolo che A_1 riesca a realizzare il «primo colpo», cioè ad eliminare con un solo primo attacco tutta la potenza offensiva di A_2.

Esaminando il nostro modello si nota che l'aumento di v_2 causa l'aumento della pendenza della retta di soddisfazione di A_2 ($x_2 = v_2 x_1 + \frac{s_2}{d_2}$) e questo comporta lo spostamento del punto di stabilità: A_2 deve installare un numero maggiore di ICBM.

Se invece anche la potenza A_2 decide di costruire i missili a testate multiple, ci sarà un incremento della vulnerabilità v_1 dei missili di A_1.

Questo comporta una diminuzione della pendenza $1/v_1$ della retta di soddisfazione di A_1 $\left(x_2 = \frac{1}{v_1}x_1 - \frac{s_1}{d_1 v_1}\right)$.
C'è il rischio che le due rette diventino parallele, eliminando così la regione di comune soddisfazione. Comunque, le rette di soddisfazione si incontreranno per un valore molto grande di x_1 e x_2 causando l'incremento della potenza distruttiva totale pronta ad essere usata.

Esempio 6

Le due potenze installano missili a testate multiple indipendenti.
Si supponga che ogni missile abbia tre testate che possono essere puntate su bersagli diversi o sullo stesso bersaglio.
Ogni testata ha una probabilità 0,8 (cioè dell'80%) di distruggere un missile nemico e una probabilità 0,2 (cioè del 20%) di mancarlo. Se, nel primo colpo, su un missile nemico vengono puntate tre testate, la probabilità che il bersaglio venga centrato è:

$$v_1 = v_2 = 0{,}992 = 1 - (1 - 0{,}8)^3.$$

Il potere distruttivo di ogni missile passa da *1* a *3* ($d_1 = d_2 = 3$).
Le equazioni delle rette di soddisfazione per A_1 e A_2 sono rispettivamente:

$$r_1^V: \quad x_2 = \frac{1}{0{,}992}x_1 - \frac{100}{3 \cdot 0{,}992}$$

$$r_2^V: \quad x_2 = 0{,}992x_1 + \frac{100}{3}$$

Il punto di stabilità passa da $x_1 = x_2 = 500$ a $x_1 = x_2 \cong 4150$.
Questo esempio numerico mostra l'effetto destabilizzante dei MIRV. È da notare che, al crescere del numero di testate, la probabilità di centrare i bersagli nemici tende a 1 e quindi le due rette di soddisfazione tendono a disporsi parallelamente facendo tendere all'infinito il punto di stabilità.

4.Missili MX

Il missile MX è progettato come un missile molto grande, ad alta precisione, che può portare 10 testate indipendenti. Sarà montato su lanciamissili mobili in modo da essere meno vulnerabile ad un attacco.
Supponiamo che A_1 costruisca questo missile. Si ha una diminuzione della vulnerabilità v_1 di A_1 (i suoi missili sono meno vulnerabili perché sono mobili). Aumenta il potere distruttivo d_1 di ogni missile di A_1 e aumenta la vulnerabilità v_2 dei missili di A_2 ad un primo attacco di A_1.
Nel nostro modello (Fig. 1) si osserva quindi:

• Un aumento della pendenza $\frac{1}{v_1}$ della retta di soddisfazione di A_1, dovuto alla diminuzione di v_1.

• Una diminuzione dell'intercetta ($-\frac{s_1}{d_1 v_1}$) della retta di soddisfazione di A_1 con l'asse x_2 dovuta all'aumento di d_1 .

• Un aumento della pendenza v_2 della retta di soddisfazione di A_2.
Il grafico di questa nuova situazione è riportato nella Fig. 7:

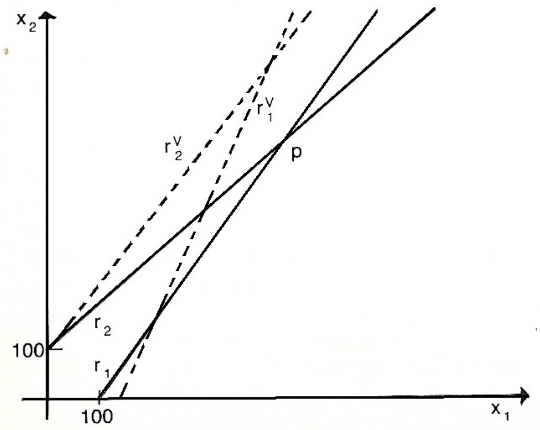

Fig. 7

Il punto di stabilità si sposta ancora in alto, cioè A_2 deve costruire un numero x_2 ancora maggiore di missili intercontinentali.

Ma se anche A_2 decide di installare missili MX, allora d_1 e d_2 aumentano; le vulnerabilità v_1 e v_2 aumentano (perché l'MX porta 10 testate) e di conseguenza il punto di stabilità si allontana ancora di più, tendendo all'infinito.
E dire che l'MX è stato definito *peacekeeper*: il difensore della pace!

3. Missili Cruise

I missili Cruise sono simili a piccoli aerei senza pilota, autoguidati, che volano a bassa quota (compresa tra 20 e 100 metri dal suolo). Con il loro sistema elettronico di guida sono in grado di seguire una rotta stabilita, seguendo il livello del terreno, riuscendo così a superare tutti gli ostacoli che incontrano, correggendo anche la traiettoria di volo, se necessario.
Sono difficilmente intercettabili per mezzo dei radar e possono colpire il bersaglio fissato con una precisione di 80 metri che si pensa di portare a 10 metri.
Se la potenza A_1 installa i Cruise, la vulnerabilità v_1 diminuisce, data la mobilità dei sistemi di lancio di questi missili e la loro difficile identificazione.
La vulnerabilità v_2 dei missili nemici aumenta perché i Cruise sono difficilmente intercettabili e altamente precisi, il che fa aumentare anche il loro potere distruttivo d_1.
Riportando graficamente questa situazione nel nostro modello (Fig. 1), si osserva che il rischio del parallelismo delle due rette di soddisfazione diventa ancora maggiore.
I Cruise accelerano in maniera spaventosa la corsa agli armamenti.

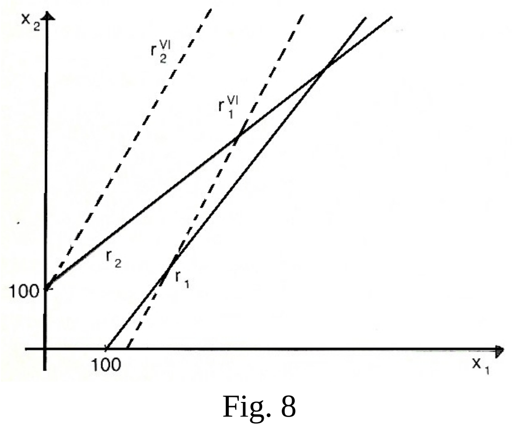

Fig. 8

Conclusioni

I risultati più interessanti che si possono trarre da questo modello danno maggiore valore alle due considerazioni seguenti:

- Armi sempre più sofisticate, sia offensive che difensive, provocano comunque situazioni instabili e accelerano la corsa agli armamenti.

- Diminuire la segretezza che circonda i progetti di nuove armi può garantire una migliore stabilità.

È da notare che lo sviluppo di nuove armi, anche se non saranno mai usate, è un fatto di per sé destabilizzante perché la potenza nemica non può aspettare di vedere l'impiego di quelle armi: reagisce subito costruendo a sua volta armi sempre più sofisticate.
Nella seconda metà del secolo scorso abbiamo assistito alla corsa agli armamenti avvenuta tra le potenze A_1 e A_2 ben note che avrebbe potuto portare alla fine dell'umanità e della vita sul nostro pianeta. Ora la situazione è ancora più complessa perché alla corsa partecipano anche altre potenze e gli equilibri internazionali potrebbero saltare da un momento all’altro.
Proprio perché il problema della corsa agli armamenti è terribilmente reale, il modello qui presentato non è un semplice esercizio di matematica ma può aiutare ad educare le nuove generazioni in maniera che maggiori informazioni sulla sicurezza nazionale possano portare a decisioni più consapevoli.
Riporto il pensiero di due matematici pacifisti sull’uso dei modelli per comprendere la realtà e, probabilmente, sarebbe interessante riproporre e analizzare il lavoro presentato in Castelnuovo-Barra, 2000, dove è stata utilizzata la teoria dei grafi per semplificare il modello di W. Leontief sulla necessità di ridurre gli armamenti.

Quello che la matematica può fare, e che il ragionamento del senso comune non può, è considerare in toto le cause e gli effetti, qualche volta intrecciati tra loro in modo complesso, fino a districarne gli effetti finali. Va da sé che non ci si può aspettare che le conclusioni siano più precise delle relazioni che supponiamo esistano tra le variabili, e questo ci porta ad un'altra caratteristica cruciale dei modelli matematici.

Contrariamente ad un significato di «modello» che prevale in molte formulazioni teoriche, lo scopo principale di un modello non è di tipo «esplicativo». Esso è più propriamente un punto di partenza che non un punto d'arrivo nella costruzione di una teoria. Spesso questi modelli sono resi volutamente semplici, con la piena consapevolezza che essi non rappresentano la realtà. Il loro valore principale sta nel fatto che portano a risultati interessanti, che vengono poi confrontati con le osservazioni. Il più delle volte, essi non si accordano con queste ultime, ma allora la natura e l'entità delle discrepanze suggeriscono la direzione di nuove ricerche.

Anatol Rapoport, 1957, p.263

Il dover tradurre i nostri ragionamenti verbali in formule matematiche ci costringe ad analizzare con cura le idee espresse. Successivamente, la disponibilità delle formule rende molto più facile dedurre conseguenze. In questo modo implicazioni assurde, che potrebbero passare inosservate in espressioni verbali, sono evidenziate in modo chiaro e ci portano a correggere le formule. Un vantaggio addizionale delle espressioni matematiche è la loro brevità, che riduce grandemente il lavoro per memorizzare le idee espresse. Se un'affermazione diventa l'oggetto di una controversia, il rigore e la brevità permettono di accelerare la discussione in modo che le oscurità siano chiarite, gli errori riconosciuti e le verità trovata ed espressa più velocemente di quanto non accada quando si seguono metodi di discussione più complessi e pesanti. Le espressioni matematiche hanno tuttavia una loro speciale tendenza a pervertire il pensiero: il rigore può essere spurio, esistente nelle equazioni ma non nei fenomeni da descrivere; e la brevità può essere dovuta all'omissione di elementi importanti semplicemente perché non possono essere matematizzati. Contro questi difetti dobbiamo essere costantemente in guardia. Sarà probabilmente impossibile evitarli del tutto, e dobbiamo pertanto riconoscerli e ammetterli.

L.F. Richardson, 1993, p. 67.

Le parole più adatte a concludere questo articolo sono quelle di un matematico e pedagogista proveniente da una regione, la Palestina, in cui la difficoltà del rapporto con l'altro si vive quotidianamente:

Uno dei principali obiettivi dell'insegnamento della matematica dovrebbe essere quello di far capire che ci sono differenti punti di vista e di far rispettare il diritto di ciascun individuo a scegliere il proprio. In altre parole, la matematica dovrebbe essere usata per insegnare la tolleranza in un'epoca così piena di intolleranza.

Munir Fasheh, 1997, p. 276.

BIBLIOGRAFIA

Castelnuovo E., Barra M., 2000, *Matematica nella realtà*, Boringhieri, Torino, p. 281-290.

Fasheh M., 1997, Mathematics, culture and authority, in A.B. Powell e M. Frankestein (eds), *Ethnomathematics: challenging eurocentrism in mathematics education,* State Univ. of New York Press, pp. 273-290.

Rapoport A., 1957, L.F. Richardson's mathematical theory of war, *Journal of Conflict Revolution*, Vol I, pp. 249-299.

Richardson L.F., 1993, The Collected Papers of Lewis Fry Richardson, Vol.2, *Quantitative psychology and studies of conflict*, Press Syndicate of the University of Cambridge.

Zane L., 1982, Simple model of the arms race, *American Journal of Physics*, febbraio, pp. 125-128.