

- **AVVERTENZA:** Di seguito trovate alcuni appunti, poco ordinati e poco formali, che uso come traccia durante le lezioni. **Non sono assolutamente da considerarsi sostitutivi del materiale didattico.**
- **Riferimenti:** Capitolo 2 Dispense Facchinei (pag 65-83). Il gioco della morra è definito invece sul capitolo 15 del testo di Chvatal.

1 Giochi a somma costante, a somma zero e antagonisti

- Riprendiamo il gioco Matching Pennies (MP). Ricordiamo che non ha equilibri di Nash. È anche evidente che una qualunque (buona) strategia dovrebbe essere implementata in modo randomizzato.

	<i>Testa</i>	<i>Croce</i>
<i>Testa</i>	(1, -1)	(-1, 1)
<i>Croce</i>	(-1, 1)	(1, -1)

- Definire il gioco della morra (MO). Payoff in forma di utilità per il primo giocatore:

<i>(Hide, Guess)</i>	[1, 1]	[1, 2]	[2, 1]	[2, 2]
[1, 1]	0	2	-3	0
[1, 2]	-2	0	0	3
[2, 1]	3	0	0	-4
[2, 2]	0	-3	4	0

Considerazioni analoghe alle precedenti: non ci sono equilibri di Nash e una qualunque (buona) strategia dovrebbe essere implementata in modo randomizzato.

- Un gioco si dice a *somma costante* se per ogni $x = (x_1, \dots, x_n) \in X$ risulta $\sum_{i=1..n} C_i(x) = \text{costante}$ – i.e. il payoff totale da dividere è sempre lo stesso (Dilemma Prigioniero non a somma costante, MP e MO a somma costante).
- Un gioco a somma costante è detto a *somma zero* se in particolare risulta $\sum_{i=1..n} C_i(x) = 0$. MO e MP sono giochi a somma zero.
- Un gioco a somma zero con *due* giocatori è detto gioco *antagonistico* – i.e. per ogni $x = (x_1, x_2) \in X$ risulta $C_1(x_1, x_2) = -C_2(x_1, x_2)$. MP e Morra sono giochi antagonisti. Nella rappresentazione di un gioco antagonista è inutile riportare i valori di *entrambi* i payoff e, per convenzione, si riporta il payoff del primo giocatore, che nel seguito indichiamo semplicemente C .
- Un gioco antagonista (finito) è detto *simmetrico* se la matrice C dei payoff di un gioco antagonista finito è anti-simmetrica (i.e. $c_{i,j} = -c_{j,i}$ e $c_{i,i} = 0$).

- MO è un gioco simmetrico. MP non è un gioco simmetrico.
- Analisi dei giochi antagonisti. Assumiamo che $C_1(x_1, x_2) = C(x_1, x_2)$ e quindi $C_2(x_1, x_2) = -C(x_1, x_2)$. Per definizione (x_1^*, x_2^*) è un equilibrio di Nash se: $C(x_1, x_2^*) \geq C(x_1^*, x_2^*)$, $\forall x_1 \in X_1$ and $-C(x_1^*, x_2) \geq -C(x_1^*, x_2^*)$, $\forall x_2 \in X_2$; ovvero se: $C(x_1, x_2^*) \geq C(x_1^*, x_2^*)$, $\forall x_1 \in X_1$ and $C(x_1^*, x_2) \leq C(x_1^*, x_2^*)$, $\forall x_2 \in X_2$; ovvero se: $C(x_1^*, x_2) \leq C(x_1^*, x_2^*) \leq C(x_1, x_2^*)$, $\forall x_1 \in X_1, \forall x_2 \in X_2$.

2 Caratterizzazione dei punti di sella di una funzione

- Siano $\mathcal{X}$ e $\mathcal{Y}$ due insiemi qualsiasi e $f : \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \mapsto \mathcal{R}$. (x^*, y^*) è un punto di sella (su $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$) se $f(x^*, y) \leq f(x^*, y^*) \leq f(x, y^*)$, $\forall x \in X, \forall y \in Y$.
- Cercare un equilibrio di Nash è la stessa cosa che cercare un punto di sella per $C(x_1, x_2)$.
- Lemma 1. Siano $\mathcal{X}$ e $\mathcal{Y}$ due insiemi qualsiasi e $f : \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \mapsto \mathcal{R}$. Vale sempre: $\sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y) \leq \inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y)$. Dim: $\forall x \forall y$, vale $f(x, y) \leq \sup_y f(x, y)$; quindi $\forall y$, vale $\inf_x f(x, y) \leq \inf_x \sup_y f(x, y)$; infine $\sup_y \inf_x f(x, y) \leq \inf_x \sup_y f(x, y)$.
- Siano $\mathcal{X}$ e $\mathcal{Y}$ due insiemi qualsiasi e $f : \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \mapsto \mathcal{R}$. Sia (x^*, y^*) tale che $x^* \in \mathcal{X}$ e $y^* \in \mathcal{Y}$. La f ha un punto di sella in (x^*, y^*) se e solo se: (i) $\sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y) = \inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y)$; (ii) $\inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y)$; (iii) $\sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y) = \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*)$.

Necessità . $\forall y \in Y$, vale $f(x^*, y^*) \geq f(x^*, y)$, quindi $f(x^*, y^*) \geq \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y) \geq \inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y)$, poiché $x^* \in \mathcal{X}$. Analogamente, $\forall x \in x$, vale $f(x^*, y^*) \leq f(x, y^*)$, quindi $f(x^*, y^*) \leq \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) \leq \sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y)$.

Mettendo insieme, $\inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y) \leq \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y) \leq f(x^*, y^*) \leq \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) \leq \sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y)$. Ma allora dal Lemma 1 segue che: $\inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y) = f(x^*, y^*) = \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y)$.

Sufficienza: da (ii) $\inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x, y) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y) \geq f(x^*, y^*)$; da (iii) $\sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y) = \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) \leq f(x^*, y^*)$; (ii) and (iii) + (i): $\sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y) = \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) = f(x^*, y^*) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} \inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y)$; concentrando su $\inf_{x \in \mathcal{X}} f(x, y^*) = f(x^*, y^*) = \sup_{y \in \mathcal{Y}} f(x^*, y)$ segue che $f(x^*, y) \leq f(x^*, y^*) \leq f(x, y^*)$, $\forall x \in X, \forall y \in Y$.

- Siano $\mathcal{X}$ e $\mathcal{Y}$ due insiemi qualsiasi e $f : \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \mapsto \mathcal{R}$. Siano (x^a, y^a) e (x^b, y^b) due punti di sella. Allora anche (x^a, y^b) e (x^b, y^a) sono punti di sella e il valore di f è lo stesso in un qualunque punto di sella. Per prima cosa osserviamo che il valore di f è lo stesso in (x^a, y^a) e (x^b, y^b) . Consideriamo il punto (x^a, y^b) abbiamo: $f(x^a, y^b) \leq f(x^a, y^a)$

e $f(x^b, y^b) \leq f(x^a, y^b)$, i.e. $f(x^b, y^b) \leq f(x^a, y^b) \leq f(x^a, y^a)$. Consideriamo il punto (x^b, y^a) abbiamo: $f(x^a, y^a) \leq f(x^b, y^a)$ e $f(x^b, y^a) \leq f(x^b, y^b)$, i.e. $f(x^a, y^a) \leq f(x^b, y^a) \leq f(x^b, y^b)$. Quindi $f(x^a, y^a) = f(x^b, y^a) = f(x^b, y^b) = f(x^a, y^b)$; ovvero il valore di f è lo stesso nei due (arbitrari) punti di sella. Dimostriamo che e.g. (x^a, y^b) è un p.to di sella: $f(x^a, y^b) = f(x^a, y^a) \geq f(x^a, y)$, $\forall y \in Y$; $f(x^a, y^b) = f(x^b, y^b) \leq f(x, y^b)$, $\forall x \in X$.

3 Gli equilibri di Nash in un gioco antagonistico

- Richiamiamo la definizione di strategia conservativa. Dato un gioco Γ (in forma di costo) e un giocatore $i \in N$, definiamo $\tilde{C}_i(x_i) = \sup_{x_{-i} \in X_{-i}} C_i(x_i, x_{-i})$. Una strategia $\bar{x}_i \in X_i$ è detta conservativa per il giocatore i se risulta $\tilde{C}_i(\bar{x}_i) = \min_{x_i \in X_i} \tilde{C}_i(x_i) = \inf_{x_i \in X_i} \tilde{C}_i(x_i)$.
- Consideriamo un gioco antagonista (finito o infinito). Abbiamo dimostrato in precedenza che il gioco ha un equilibrio di Nash sse $C(x_1, x_2)$ ha un punto di sella. Segue che il gioco ha un equilibrio di Nash in $(x_1^*, x_2^*) \in \mathcal{X}_1 \times \mathcal{X}_2$ sse: (i) $\sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C(x_1, x_2) = \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C(x_1, x_2)$; (ii) $\inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C(x_1, x_2) = \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C(x_1^*, x_2)$; (iii) $\sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C(x_1, x_2) = \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C(x_1, x_2^*)$.

Nel seguito usiamo spesso il fatto che $\sup_{x \in X} f(x) = -\inf_{x \in X} -f(x)$ etc. Inoltre ricordiamo anche che $C_2(x_1, x_2) = -C(x_1, x_2)$.

La condizione (ii) equivale a richiedere che x_1^* sia una strategia conservativa per il primo giocatore.

Per la condizione (iii): (iii) $\equiv \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} -C_2(x_1, x_2) = \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} -C_2(x_1, x_2^*) \equiv \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} -\sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2) = -\sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C_2(x_1, x_2) = -\sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2^*) \equiv \inf_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2) = \sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2^*)$. La condizione (iii) equivale quindi a richiedere che x_2^* sia una strategia conservativa per il secondo giocatore.

Infine la (i) si può riscrivere: $-\inf_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2) = \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C_1(x_1, x_2)$.

- Quindi per un gioco antagonista un punto ammissibile (x_1^*, x_2^*) è un equilibrio di Nash se e solo se valgono le seguenti condizioni:

(ii) + (iii) x_1^* e x_2^* sono rispettivamente strategie conservative per il primo e il secondo giocatore.

(i) $-\sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2^*) = \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C_1(x_1^*, x_2)$, i.e. $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$.

Per l'ultima condizione si noti che la (i) richiede che $-\inf_{x_2 \in \mathcal{X}_2} \sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2) = \inf_{x_1 \in \mathcal{X}_1} \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C_1(x_1, x_2)$. D'altro canto segue dalle (ii) + (iii) che: $-\sup_{x_1 \in \mathcal{X}_1} C_2(x_1, x_2^*) = \sup_{x_2 \in \mathcal{X}_2} C_1(x_1^*, x_2)$, i.e. $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$.

- Da quanto appena detta e dal Lemma 1 segue anche che per un gioco antagonista, per il quale entrambi i giocatori abbiano una strategia conservativa, siano x_1^* e x_2^* , vale *sempre* $\tilde{C}_1(x_1^*) \geq -\tilde{C}_2(x_2^*)$. Il significato di questa relazione è ovvio: $-\tilde{C}_2(x_2^*)$, la perdita minima che il secondo giocatore può imporre al primo giocatore è minore o uguale di $\tilde{C}_1(x_1^*)$, la perdita massima che il primo giocatore può garantirsi di non superare. In altre parole, il primo giocatore può giocare la sua strategia conservativa e garantirsi di non pagare più di quello che il secondo giocatore può costringerlo a pagare.

Quando $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$ ci troviamo in una presenza di un equilibrio di Nash. Notiamo una conseguenza molto interessante dell'esistenza di un NE per un gioco antagonista: il (primo) giocatore può dichiarare *in anticipo* la strategia (conservativa) che giocherà e comunque non pagare più di quanto comunque il suo avversario potrebbe costringerlo a pagare in ogni caso: quindi comunicare in anticipo la sua strategia non lede le sue possibilità !

- Il valore $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$, quando esiste, è detto *valore* del gioco antagonista. Un gioco a valore zero è detto *fair*; naturalmente, il valore di un gioco simmetrico può solo essere 0 (ma può anche non esistere). Il valore di un gioco ci dice quindi qual è il payoff che ci possiamo “ragionevolmente aspettare” se giochiamo quel gioco. Notiamo anche che esso prescinde completamente dalle strategie che poi i giocatori adotteranno: appunto *dipende dalle regole del gioco e non dal comportamento dei giocatori*.
- Tutto ciò sembra un po' artificiale. Quanti sono in fondo i giochi antagonisti che ammettono un equilibrio di Nash? In effetti, vedremo più avanti che tutti i giochi antagonistici in strategia randomizzata ammettono un equilibrio di Nash.

3.1 Giochi antagonistici finiti

- Consideriamo un gioco antagonista *finito*. Poiché il gioco è finito, esiste (almeno) una strategia conservativa x_1^* per il primo giocatore e (almeno) una strategia conservativa x_2^* per il secondo giocatore, i.e. le condizioni (ii) e (iii) sono verificate.

Come detto in precedenza, vale sempre $\tilde{C}_1(x_1^*) \geq -\tilde{C}_2(x_2^*)$. Inoltre il gioco ha un equilibrio di Nash se e solo se vale $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$.

Infine se (x_1^a, x_2^a) e (x_1^b, x_2^b) sono due equilibri di Nash, allora anche (x_1^a, x_2^b) e (x_1^b, x_2^a) sono equilibri di Nash e il payoff (e.g. del primo giocatore) è lo stesso in un qualunque equilibrio di Nash.

- Analizziamo ora alcuni esempi. Primo Esempio:

7	-2	-2	5
1	-2	-3	6
2	-6	-9	-4

Indichiamo x_j^i la strategia i -esima del giocatore j . Allora: $\tilde{C}_1(x_1^1) = 7$; $\tilde{C}_1(x_1^2) = 6$; $\tilde{C}_1(x_1^3) = 2$; quindi la strategia conservativa per il primo giocatore è $x_1^* = x_1^3$ e vale $\tilde{C}_1(x_1^*) = 2$.

Inoltre $\tilde{C}_2(x_2^1) = -1$; $\tilde{C}_1(x_2^2) = 6$; $\tilde{C}_1(x_2^3) = 9$; $\tilde{C}_1(x_2^4) = 4$; quindi la strategia conservativa per il secondo giocatore è $x_2^* = x_2^1$ e vale $\tilde{C}_2(x_2^*) = -1$.

Poiché $\tilde{C}_1(x_1^*) \neq -\tilde{C}_2(x_2^*)$, il gioco è privo di equilibri di Nash (come possiamo verificare studiando direttamente la matrice).

In ogni caso la perdita minima che il secondo giocatore può imporre al primo giocatore (1 euro) è minore o uguale della perdita massima che il primo giocatore può garantirsi di non superare (2 euro).

Secondo Esempio:

7	-2	-2	5
1	-2	-3	6
2	-6	-9	4

Indichiamo x_j^i la strategia i -esima del giocatore j . Allora: $\tilde{C}_1(x_1^1) = 7$; $\tilde{C}_1(x_1^2) = 6$; $\tilde{C}_1(x_1^3) = 4$; quindi la strategia conservativa per il primo giocatore è $x_1^* = x_1^3$ e vale $\tilde{C}_1(x_1^*) = 4$.

Inoltre $\tilde{C}_2(x_2^1) = -1$; $\tilde{C}_1(x_2^2) = 6$; $\tilde{C}_1(x_2^3) = 9$; $\tilde{C}_1(x_2^4) = -4$; quindi la strategia conservativa per il secondo giocatore è $x_2^* = x_2^4$ e vale $\tilde{C}_2(x_2^*) = -4$.

Poiché $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$, (x_1^*, x_2^*) è un equilibrio di Nash (come possiamo verificare studiando direttamente la matrice). In particolare, per ciascun giocatore esiste un'unica strategia conservativa e quindi (x_1^3, x_2^4) è l'unico equilibrio di Nash del gioco.

Terzo Esempio:

4	0	4	6	8
2	0	-4	-6	2
3	-7	8	-5	6
2	-2	1	2	2

Indichiamo x_j^i la strategia i -esima del giocatore j . Allora: $\tilde{C}_1(x_1^1) = 8$; $\tilde{C}_1(x_1^2) = 2$; $\tilde{C}_1(x_1^3) = 8$; $\tilde{C}_1(x_1^4) = 2$; quindi le strategie conservative per il primo giocatore sono $x_1^* \in \{x_1^2, x_1^4\}$ e vale $\tilde{C}_1(x_1^*) = 2$.

Inoltre $\tilde{C}_2(x_2^1) = -2$; $\tilde{C}_2(x_2^2) = 7$; $\tilde{C}_2(x_2^3) = 4$; $\tilde{C}_2(x_2^4) = 6$; $\tilde{C}_2(x_2^5) = -2$; quindi le strategie conservative per il secondo giocatore sono $x_2^* \in \{x_2^1, x_2^5\}$ e vale $-\tilde{C}_2(x_2^*) = 2$.

Poiché $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$, il gioco ha equilibri di Nash. In particolare, per ciascun giocatore esistono due strategie conservative e quindi gli equilibri di Nash del gioco sono: (x_1^2, x_2^2) ; (x_1^2, x_2^5) ; (x_1^4, x_2^2) ; (x_1^4, x_2^5) .

3.2 Giochi antagonistici infiniti

- Consideriamo un gioco antagonista *infinito*. L'unica differenza con il caso precedente è che un giocatore (o entrambi i giocatori) potrebbe non avere una strategia conservativa, e in questo caso non esiste alcun equilibrio di Nash. Se, viceversa, esiste (almeno) una strategia conservativa x_1^* per il primo giocatore e (almeno) una strategia conservativa x_2^* per il secondo giocatore, allora valgono considerazioni analoghe a quelle svolte per il caso finito, ovvero: il gioco ha un equilibrio di Nash (x_1^*, x_2^*) se e solo se x_1^* e x_2^* sono strategie conservative rispettivamente per il primo e il secondo giocatore e vale $\tilde{C}_1(x_1^*) = -\tilde{C}_2(x_2^*)$; inoltre se (x_1^a, x_2^a) e (x_1^b, x_2^b) sono due equilibri di Nash, allora anche (x_1^a, x_2^b) e (x_1^b, x_2^a) sono equilibri di Nash e il payoff (e.g. del primo giocatore) è lo stesso in un qualunque equilibrio di Nash.
- Osserviamo quindi che in un equilibrio di Nash di un gioco antagonista (se esiste!) ogni giocatore gioca una strategia conservativa. Naturalmente, ci sono giochi antagonisti finiti, e che dunque hanno strategie conservative, che non hanno equilibri di Nash (per esempio, matching pennies e il gioco della morra).

3.3 Giochi strettamente competitivi

- I risultati fin qui esposti valgono esclusivamente per giochi antagonistici, ovvero giochi a somma zero con due giocatori. In effetti questi risultati possono essere estesi a una classe di giochi a due giocatori leggermente più grande, come mostrato nel seguito.
- Un gioco con due giocatori è *strettamente competitivo* se vale: $C_1(x^a) \leq C_1(x^b)$ se e solo se $C_2(x^a) \geq C_2(x^b) \forall x^a, x^b \in X_1 \times X_2$ (questa condizione è banalmente verificata per giochi antagonistico, quindi i giochi antagonistici sono strettamente competitivi).
- Per definizione (x_1^*, x_2^*) è un N.E. di un gioco a 2 giocatori se e solo se $C_1(x_1, x_2^*) \geq C_1(x_1^*, x_2^*), \forall x_1 \in X_1$ and $C_2(x_1^*, x_2) \geq C_2(x_1^*, x_2^*), \forall x_2 \in X_2$.

Si noti che se il gioco è strettamente competitivo $C_2(x_1^*, x_2) \geq C_2(x_1^*, x_2^*) \forall x_2 \in X_2$ se e solo se $C_1(x_1^*, x_2) \leq C_1(x_1^*, x_2^*)$, $\forall x_2 \in X_2$.

Quindi, se il gioco è strettamente competitivo, segue che (x_1^*, x_2^*) è un N.E. se e solo se $C_1(x_1, x_2^*) \geq C_1(x_1^*, x_2^*) \geq C_1(x_1^*, x_2)$, $\forall x_1 \in X_1$, $\forall x_2 \in X_2$.

Quindi gli equilibri di Nash di un gioco strettamente competitivo coincidono con i punti di sella della funzione $C_1(x_1, x_2)$ e, in pratica, valgono tutti i risultati precedenti. Quindi (x_1^*, x_2^*) è un equilibrio di Nash per un gioco strettamente competitivo se e solo se x_1^* e x_2^* sono strategie conservative, rispettivamente per il primo e il secondo giocatore, e vale $\sup_{x_2 \in X_2} C_1(x_1^*, x_2) = \inf_{x_1 \in X_1} C_1(x_1, x_2^*)$. Inoltre se ci sono più equilibri di Nash il payoff del primo giocatore (oppure il payoff del secondo giocatore) è lo stesso su tutti i punti e vale la proprietà di rettangolarità .