9. Interventi di politica ambientale in condizioni di informazione asimmetrica: il caso dell'inquinamento da sorgenti diffuse

di Cesare Dosi e Michele Moretto

1. Introduzione

La regolamentazione di attività economiche suscettibili di esercitare un'eccessiva pressione nei confronti delle capacità assimilative dell'ambiente naturale è spesso seriamente condizionata dall'incertezza e dalla carenza di informazione. È questo sicuramente il caso del controllo dell'inquinamento da sorgenti diffuse (*nonpoint sources*, NPS) delle acque superficiali e profonde, un'area-problema che ha richiamato, a partire dagli anni settanta, una crescente attenzione da parte sia degli specialisti in materia di tutela dei corpi idrici che degli economisti [1].

Benché le conoscenze a tutt'oggi acquisite per la comprensione del fenomeno siano ben lungi dall'essere consolidate, la letteratura specialistica, nel suo insieme, ha espresso un giudizio sostanzialmente negativo circa l'efficacia delle soluzioni di natura «ingegneristica» tradizionalmente adottate per il controllo dell'inquinamento da sorgenti puntiformi e raccomanda l'adozione di interventi preventivi, in grado di influenzare le attività economiche che danno luogo alla generazione di carichi inquinanti suscettibili di essere trasferiti nei corpi idrici.

Quanto alla formulazione di tali interventi, è plausibile, data la natura dei processi di generazione e trasporto dei carichi inquinanti, che il soggetto deputato al controllo delle NPS debba confrontarsi con seri problemi di «informazione asimmetrica». Se la nostra interpretazione è corretta, tali asimmetrie traggono origine non tanto dalla disponibilità, per il sospetto inquinatore, di informazioni «superiori» circa il livello e/o la natura delle emissioni, quanto dalla disponibilità di maggiori informazioni riguardo alcuni «parametri» la cui conoscenza è necessaria all'autorità di controllo per alimentare i modelli di simulazione cui è necessario far ricorso al fine di ovviare all'impossibilità di monitorare, direttamente, i rilasci di inquinanti. Tali parametri

[1] Una valutazione di schemi alternativi di regolamentazione delle NPS, attraverso modelli empirici di ricerca operativa, viene proposta, tra gli altri, da Taylor [1975]; Taylor-Frohberg [1977]; Jacobs-Casler [1979]; Kramer e altri [1984]; Hartley [1986].

riguardano, in particolare, le decisioni produttive (ad esempio il livello di impiego di input potenzialmente inquinanti) e/o le caratteristiche fisiche del sito di produzione.

Sulla base di tali considerazioni, abbiamo ritenuto di qualche interesse impostare esplicitamente il problema della regolamentazione delle NPS nei termini di una relazione «Agente-Principale» al fine di ricavare indicazioni riguardo: *i*) le implicazioni dell'esistenza di asimmetrie di informazione nei confronti della possibilità di realizzare una regolamentazione di *first-best* delle NPS; *ii*) i criteri generali in base ai quali potrebbe essere impostata, a partire da condizioni di informazione asimmetrica, la formulazione di uno schema di regolamentazione; *iii*) la possibilità di identificare un livello massimo per le risorse meritevoli di essere investite nella raccolta diretta di informazioni al fine di far venir meno tali asimmetrie.

La nota è articolata nel modo seguente. Nella sezione successiva vengono brevemente richiamati i principali attributi delle NPS. Nei paragrafi 3 e 4 vengono proposti due scenari; il primo è costruito intorno all'assunzione che all'autorità di controllo (qui di seguito «l'agenzia» o il «Principale») siano note le caratteristiche fisiche del territorio in cui opera il sospetto inquinatore ma che le decisioni produttive di quest'ultimo (in particolare il livello di impiego di un input potenzialmente inquinante) non siano direttamente monitorabili; il secondo scenario è costruito invece intorno all'assunzione che il sospetto inquinatore (qui di seguito «l'impresa» o «Agente») possegga informazioni superiori circa le caratteristiche fisiche del sito di produzione.

2. Sulla natura dei problemi di controllo dell'inquinamento da sorgenti diffuse

Tra le NPS vengono solitamente classificate le superfici urbane ed industriali, soggette a fenomeni di dilavamento, non collegate a reti fognarie, e i terreni agricoli; i principali inquinanti trasferiti da queste aree antropizzate ai corpi idrici comprendono alcuni metalli pesanti, nutrienti, pesticidi, sedimenti e idrocarburi [Novotny 1989].

Benché alcune delle considerazioni svolte nelle pagine che seguono possano essere estese anche ad altre sorgenti inquinanti, esse sono ispirate soprattutto dagli studi condotti sulle perdite di nutrienti (azoto e fosforo) dai terreni agricoli. L'interesse nei confronti di queste emissioni deriva, in primo luogo, dal fatto che, tra i fenomeni di inquinamento da sorgenti diffuse, esse vengono spesso indicate come

Per una discussione, di natura teorica, delle proprietà di tali schemi si veda Griffin-Bromley [1982]; Shortle-Dunn [1986]; Segerson [1988].

una delle principali aree-problema in materia di tutela dei corpi idrici[2]. In secondo luogo, le perdite di nutrienti, e più in generale di inquinanti dai terreni agricoli, sono quelle per le quali è probabilmente più evidente la necessità di adottare interventi di natura preventiva; l'elevata diffusione e polverizzazione delle produzioni agricole rende infatti estremamente complessa, per non dire impossibile, l'intercettazione dei carichi inquinanti attraverso la realizzazione di impianti di depurazione localizzati tra le sorgenti e i corpi idrici ricettori.

Nel tentativo di caratterizzare le NPS, la letteratura specialistica ha in genere richiamato l'attenzione sui seguenti attributi [Vigon 1985]:

a) la difficoltà di monitorare alla sorgente le perdite di inquinanti;
b) l'influenza esercitata da parametri di natura pedo-climatica nei confronti dei processi di generazione dei carichi di inquinanti;
c) la difficoltà di stimare il «rapporto di consegna», vale a dire, il rapporto tra la quantità di inquinanti effettivamente recapitata in un corpo idrico e le emissioni alla sorgente;
d) la diffusione territoriale delle sorgenti inquinanti.

Con riferimento al primo degli attributi menzionati, pare opportuno svolgere almeno due considerazioni.

La prima riguarda le cause della «non-monitorabilità». La difficoltà, o impossibilità, di misurare le perdite alla sorgente può derivare non solo o non tanto dalla numerosità e distribuzione spaziale dei punti di emissione, quanto dalle modalità stesse attraverso cui si manifestano le perdite. Tali modalità possono di fatto precludere la valutazione dei rilasci non solo all'agenzia, ma allo stesso agente responsabile delle emissioni.

Una seconda considerazione riguarda le alternative al monitoraggio diretto disponibili per l'agenzia. La difficoltà di misurare le emissioni alla sorgente ha stimolato lo sviluppo di modelli matematici per la stima delle perdite[3]. Una volta che i modelli disponibili siano stati opportunamente «tarati» per consentirne l'impiego in ambiti territoriali diversi da quelli per i quali sono stati inizialmente sviluppati, la questione cruciale riguarda la decisione di utilizzarli o meno ai fini della formulazione di interventi di regolamentazione.

In breve, la distribuzione spaziale dei carichi inquinanti costituisce sicuramente un attributo importante, ma non è sufficiente a caratte-

[2] A titolo di esempio, secondo un recente studio dedicato alla valutazione del contributo delle diverse sorgenti inquinanti della laguna di Venezia (con riferimento in particolare agli apporti di nutrienti) il carico inquinante di origine agricola e zootecnica da sorgenti diffuse rilasciato nella rete idraulica del bacino scolante sarebbe nettamente superiore a quello di origine domestica ed industriale da sorgenti puntiformi [Consorzio Venezia Nuova 1989, p. 43].

[3] Una rassegna di tali modelli viene proposta in Zingales-Giorgini [1986].

rizzare il problema di regolamentazione delle NPS che ha di fronte l'agenzia, in quanto la difficoltà di censire i punti di emissione non costituisce il solo impedimento al monitoraggio diretto delle emissioni. In secondo luogo, la difficoltà o impossibilità di monitorare direttamente le perdite non costituisce, di per sé, un impedimento alla formulazione di interventi di regolamentazione, a patto, ovviamente, che ai modelli matematici elaborati per la stima delle emissioni venga accordata una sorta di «legittimazione politica».

Se tale legittimazione è stata accordata, è corretto affermare che la formulazione di interventi di regolamentazione delle NPS non sia suscettibile di essere affetta da problemi di informazione asimmetrica? La risposta dipenderà dalla disponibilità, o meno, per i sospetti inquinatori, di informazioni superiori riguardo i parametri (o un sottoinsieme dei parametri) la cui conoscenza è necessaria all'agenzia per alimentare i modelli stessi.

Al fine di chiarire tale affermazione, si consideri un'unità di produzione (ad esempio un'impresa agricola) la quale impiega un input potenzialmente inquinante (ad esempio un fertilizzante chimico), X, e opera in un ambito territoriale le cui caratteristiche fisiche sono sinteticamente descritte dalle variabili θ e γ; θ sta ad indicare attributi quali la capacità di ritenzione idrica, la tessitura, la pendenza del terreno, mentre la variabile (stocastica) γ descrive le caratteristiche meteo-climatiche del sito.

Assumiamo che tanto le *performance* produttive quanto quelle «ambientali» dell'impresa siano influenzate da θ e γ. In particolare che il ruolo svolto dalle variabili pedo-climatiche nei confronti delle performance produttive dell'impresa sia descritto dalla seguente funzione di profitto:

$$\pi = \pi\,(x, \theta, \gamma)$$

mentre il processo di generazione del carico inquinante potenzialmente disponibile per un corpo idrico (ad esempio la quantità di azoto o fosforo non utilizzata dalla coltura) sia descritto dal seguente modello [4]:

$$R = \Psi\,(x, \theta, \gamma)$$

Assumiamo inoltre che l'agenzia possa avvalersi di un ulteriore modello in grado di associare i livelli osservati di inquinanti nel corpo idrico ricettore, p, con le emissioni, non osservabili, R [5]:

[4] Ad esempio il CREAMS (Chemical Runoff and Erosion for Agricultural Management Systems; Knisel [1980]) può essere classificato in questa classe di modelli.
[5] Ad esempio l'MRF (Mass Response Function; Rinaldo-Marani [1987]) può essere classificato in questa classe di modelli.

$$p = \Phi (R, \lambda)$$

dove λ è una variabile casuale che descrive l'incertezza riguardo la relazione che lega p e R. Infine, assumiamo che i costi sociali derivanti dalla contaminazione del corpo idrico attribuibili a p (ad esempio i *bloom algali* dovuti all'eccessiva concentrazione di nutrienti) siano valutati attraverso la funzione di danno $D(p)$.

A partire da queste relazioni è possibile immaginare una varietà di scenari di informazione asimmetrica. In particolare, anche se assumiamo che l'impresa e l'agenzia condividano le stesse informazioni sulla distribuzione di γ, possiamo notare quanto segue:

i) se θ è monitorabile ma l'impresa possiede informazioni superiori sul livello di impiego del fattore produttivo, l'agenzia dovrà confrontarsi con un problema di *azzardo morale con azione nascosta* a meno che essa sia in grado di monitorare l'output dell'impresa;

ii) se l'agenzia è in grado di monitorare il livello di impiego dell'input ma l'impresa possiede informazioni superiori sulle caratteristiche fisiche del sito di produzione, la prima dovrà confrontarsi con un problema di *selezione avversa* a meno che sia in grado di monitorare l'output dell'impresa;

iii) a prescindere dalla possibilità o meno di monitorare l'output, gli interventi di regolamentazione dovranno essere decisi in condizione di *informazione asimmetrica* se l'impresa ha un vantaggio informativo sia su θ che su x;

iv) anche se eliminiamo λ dall'argomento di $\phi\,(\cdot)$, in altre parole, anche se assumiamo che la stima del «rapporto di consegna» non sia affetta da incertezza, la non monitorabilità di θ e x trascina con sé un'*asimmetria di informazione* a meno che l'agenzia sia in grado di monitorare l'output.

Nelle pagine seguenti verranno discusse le implicazioni degli scenari sub *i*) e *iv*) ai fini della attività di regolamentazione delle NPS.

3. Imperfetta monitorabilità del livello di impiego di un input potenzialmente inquinante

3.1. Il modello

Iniziamo la trattazione del primo problema di informazione asimmetrica impostando il modello «Agente-Principale» che verrà utilizzato nel corso di tutto il lavoro.

Assumiamo che l'utilità dell'impresa sia descritta da una funzione *à la* Von Neumann-Mongerstern, $W^a\,(\pi(x, \bar{\theta}), T)$, con neutralità rispetto al profitto π e avversione al rischio rispetto alla tassa (o sussidio) T. Assumiamo inoltre separabilità in π e T:

[1] $W^a = \pi\,(x, \bar{\theta}) - v\,(T)$

dove $\pi_x > 0$, $\pi_{xx} \leq 0$ e $v'\,(T) > 0$, $v''\,(T) \geq 0$ (così che l'impresa può essere solo neutrale, $v'' = 0$, o avversa al rischio, $v'' > 0$, nei confronti della tassa). Anche per l'agenzia assumeremo una funzione di utilità *à la* Von Neumann-Morgenstern, W^p, con un argomento costituito da due parti: la prima è rappresentata dall'utilità dell'impresa W^a, e la seconda dal costo sociale dell'inquinamento – descritto dalla funzione di danno, convessa, $D(p)$ – più l'utilità, $u(T)$, derivante all'agenzia dal prelievo fiscale, con: $u'\,(T) > 0$, $u''\,(T) \leq 0$.

Il carico di inquinanti effettivamente recapitato al corpo idrico, p, misurabile da parte dell'agenzia, dipende dalle emissioni alla sorgente, R, secondo la funzione $p = \Phi\,(R, \lambda)$; la variabile casuale λ è definita nell'intervallo $[\underline{\lambda}, \bar{\lambda}]$ e possiede funzione di densità $g(\lambda)$. Le emissioni, dal canto loro, sono valutate sulla base della funzione $R = \Psi\,(x, \bar{\theta})$. Introducendo queste relazioni nell'argomento della funzione di utilità dell'agenzia otteniamo la seguente espressione:

[2] $W^p = \pi\,(x, \bar{\theta}) - v\,(T) - D\,(p(x, \lambda, \bar{\theta})) + u(T)$

Anche l'agenzia può essere solo neutrale ($v'' = u'' = 0$) o avversa al rischio ($v'' > 0$ e $u'' < 0$) nei confronti di T. Assumiamo inoltre che $u'v - uv' \geq 0$, una condizione che assicura che la disutilità, per l'agenzia, derivante dal fatto di tassare l'impresa cresce ad un tasso inferiore rispetto all'utilità associata al prelievo stesso.

Poiché l'agenzia è in grado di monitorare solamente il carico inquinante effettivamente recapitato nel corpo idrico, tasserà l'impresa utilizzando, in ultima analisi, come base imponibile, l'unica variabile osservabile, vale a dire, $T(p)$.

La funzione obiettivo dell'agenzia può quindi essere riscritta nel modo seguente:

[3] $E_\lambda\,[\pi(x) - D\,(p(x, \lambda)) - v\,(T(p(x, \lambda))) + u\,(T(p(x, \lambda)))]$

dove il valore atteso è definito rispetto alla variabile causale λ. Analogamente, la funzione obiettivo dell'impresa diventa:

[4] $E_\lambda\,[\pi(x) - v\,(T(p(x, \lambda)))]$

Oltre alle assunzioni fin qui introdotte, ipotizzeremo che l'agenzia e l'impresa condividano le stesse informazioni sulla distribuzione di probabilità di λ, sulla funzione che descrive il processo di trasporto di inquinanti nel corpo idrico, $p(x, \lambda)$, sulla funzione di utilità e di profitto dell'impresa. L'eliminazione di $\bar{\theta}$ dall'argomento delle funzioni obiettivo discende dall'ipotesi che le caratteristiche fisiche del sito di produzione siano note ad entrambe le parti.

Data la scelta di x da parte dell'impresa, scelta effettuata prima che lo «stato del mondo» descritto da λ sia noto, il valore di p varierà in funzione di λ. Assumiamo che $p(x, \lambda)$ sia una funzione continua e differenziabile almeno fino al secondo ordine, con $p_x > 0$, $p_{xx} \geq 0$, e per convenienza $p_\lambda > 0$. In altre parole, un valore più elevato di λ descrive uno «stato del mondo» più sfavorevole dal punto di vista ambientale. Combinando la funzione che descrive il trasferimento di inquinanti con quella di danno sociale, otteniamo che: $D_p p_x > 0$, $D_{pp}(p_x)^2 + D_p p_{xx} \geq 0$, vale a dire, il danno marginale attribuibile all'impiego dell'input x è positivo e crescente.

Nell'impostazione più «tradizionale» di modelli Agente-Principale, uno schema di incentivi, $T(p)$, Pareto ottimale, viene ricavato attraverso la soluzione del seguente programma:

[5] $$\max_{T(p),x} E_\lambda \left[\pi(x) - D(p(x, \lambda)) - v\,(T(p(x, \lambda))) + u(T\,(p(x, \lambda)))\right]$$

con i vincoli

[6] $$\max_{x} E_\lambda \left[\pi(x) - v\,(T(p(x, \lambda)))\right] \geq W_0^a$$

[7] $$x \in \operatorname*{argmax}_{x' \in x} E_\lambda \left[\pi(x') - v\,(T(p(x', \lambda))\right]$$

dove la notazione «argmax» sta ad indicare l'insieme delle soluzioni che massimizzano l'utilità dell'impresa.

L'introduzione, tra i vincoli, della [6], vale a dire del «vincolo di partecipazione», garantisce l'agenzia del fatto che l'impresa conseguirà comunque un livello (atteso) minimo di utilità. In condizioni di neutralità al rischio ($v'' > 0$) e con una disutilità marginale della tassa pari ad uno, la funzione di utilità dell'impresa risulta essere pari al profitto al netto della tassa, e W_0^a (*reservation utility*) può essere interpretato come un profitto positivo in grado di coprire almeno i costi fissi.

L'introduzione del vincolo descritto dalla [7], dal canto suo, riflette il fatto che l'agenzia è in grado di osservare solamente la porzione di inquinanti effettivamente recapitata nel corpo idrico, p, ma non il livello di impiego del fattore produttivo, x. Pertanto, se l'agenzia intende indurre la scelta di un certo x, lo schema di incentivazione dovrà possedere la proprietà di essere «compatibile» con l'aspirazione dell'impresa a massimizzare la propria utilità.

Se l'agenzia fosse in grado di monitorare x, potrebbe indurre, attraverso un *forcing contract*, la selezione da parte dell'impresa del livello «socialmente» desiderato del fattore produttivo potenzialmente inquinante, anche se lo schema di tassazione fosse definito risolvendo il programma descritto solo da [5] e [6]. Come mostrato nelle pagine seguenti, tale contratto di *first best* differirà, in generale, dalla soluzione di *second best* ottenuta risolvendo il programma definito dalla [5], [6] e [7].

3.2. Informazione completa (soluzione di *first best*)

Con x monitorabile da parte dell'agenzia, è possibile formulare uno schema di regolamentazione ottimale sia in termini di ripartizione del rischio tra l'agenzia e l'impresa, che di impiego del fattore produttivo.

Si noti che, poiché la decisione di impiegare un certo livello di fattore produttivo deve essere presa prima che sia risolta l'incertezza riguardo la relazione che lega p ed R, x non dipenderà da λ.

Una soluzione Pareto ottimale sarà costituita dall'ottimo livello di impiego del fattore produttivo, x^*, e dallo schema di tassazione $T^*(p)$. Il contratto «stipulato» tra l'impresa e l'agenzia prevederà pertanto il livello di tassazione cui sarà assoggettata la prima in cambio della decisione di utilizzare x^*.

Utilizzando le consuete tecniche di massimizzazione, risolvendo il programma descritto da [5] e [6] si otterranno le seguenti condizioni del primo ordine:

[8] $\qquad (1 + \mu)\ \pi_x = E_\lambda\ [D_p P_x]$

[9] $\qquad (1 + \mu)\ v'\ (T(p)) = u'\ (T(p))$

[10] $\qquad \mu \geq 0 \qquad [E_\lambda\ \pi(x) - v(T(p)) - W_0^a)] = 0$

Dati $v' >$ e $u' > 0$, il moltiplicatore di Lagrange μ, associato al vincolo di partecipazione, sarà positivo e l'impresa riceverà solo la propria *reservation utility*, W_0^a (sotto le nostre assunzioni sulle funzioni di utilità, le condizioni del secondo ordine sono sempre soddisfatte).

La prima condizione consente di determinare il valore ottimale di x, ed è di agevole interpretazione in quanto esprime il requisito dell'uguaglianza tra il contributo, al margine, del fattore produttivo in termini di profitto per l'impresa, e il danno sociale atteso attribuibile alla contaminazione del corpo idrico derivante dall'impiego del fattore stesso.

Lo schema di tassazione è invece definito dalla condizione [10]. Date le assunzioni di separabilità negli argomenti delle funzioni di utilità, la tassa risulta essere costante in p. Tuttavia, il rapporto u'/v' è decrescente in T.

3.3. Informazione asimmetrica (soluzione di *second best*)

Ritorniamo ora al problema iniziale, sinteticamente descritto dall'incapacità, da parte dell'agenzia, di monitorare il livello di impiego dell'input potenzialmente inquinante. L'agenzia è in grado di osservasolo il carico di inquinanti effettivamente recapitato nel corpo idrico, e, conseguentemente, lo schema di tassazione potrà essere definito sulla base di minori informazioni, la qual cosa implica, evidentemente, una minore capacità di controllo nei confronti del livello socialmente ottimale di x. In tali circostanze l'agenzia potrà al più assicurarsi un livello (atteso) di utilità pari a quello conseguibile sotto le condizioni di informazione completa descritte nel paragrafo che precede.

Un approccio per l'identificazione di uno schema di regolamentazione, esente dai possibili problemi derivanti dal fatto che la derivata $T'(p)$, che compare nelle condizioni del primo ordine per l'impresa, potrebbe non essere definita in tutti i punti [Mirrlees 1975], va sotto il nome di «*parametrized distribution formulation of uncertainty*». Tale approccio, inizialmente proposto da Mirrlees [1974; 1975] e sviluppato da Holmström [1979] e Shavell [1979], suggerisce, in ultima analisi, di interpretare il volume stesso di inquinanti effettivamente recapitati nel corpo idrico come la variabile casuale rilevante nei confronti della quale l'agenzia formulerà le proprie aspettative. In altre parole, dato un livello di impiego del fattore produttivo, esiste un livello di p per ogni possibile valore di λ, con densità di probabilità $g(\lambda)$. In questo modo, le funzioni $p(x, \lambda)$ e $g(\lambda)$, definiscono congiuntamente, una distribuzione di probabilità per p, $f(p; x) > 0$; con $F(p; x)$ indichiamo invece la distribuzione cumulata di p definita su $[\underline{p}, \bar{p}]$, e assumiamo che sia differenziabile in x.

È facile mostrare che se $p_x > 0$, allora $F_x(p; x) < 0$; in altre parole, il fatto che ad impieghi più elevati del fattore produttivo possano accompagnarsi maggiori recapiti di inquinanti nel corpo idrico viene formalizzato attraverso una relazione di «dominanza stocastica del primo ordine» su $[\underline{p}, \bar{p}]$ che sposta la distribuzione cumulata verso destra. Si richiede, inoltre, che, sia il limite superiore di p, $\bar{p} = p(x, \bar{\lambda})$, che quello inferiore, $\underline{p} = p\,(x, \underline{\lambda})$, siano invarianti rispetto ad x.

Mutando tale approccio, per un dato schema di tassazione $T(p)$, il problema di massimo per l'impresa risulta:

$$[11] \qquad \max_x \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [\pi(x) - v(T(p))]f(p; x)\mathrm{d}p$$

dal quale, poiché $\int_{\underline{p}}^{\bar{p}} f(p; x)\,\mathrm{d}p = 0$, in quanto non muta il dominio di $f\,(p; x)$, si ottiene la seguente condizione del primo ordine:

$$[12] \qquad \pi_x - \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v(T(p))f_x(p; x)\ \mathrm{d}p = 0$$

Ovviamente tale condizione non è sufficiente per garantire l'esistenza di un massimo. È infatti necessario che sia soddisfatta anche la seguente condizione:

$$[13] \quad \pi_{xx} - \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v(T(p)) f_{xx}(p;\, x)\, dp \leq 0$$

La condizione [12] definisce quindi il «vincolo di incentivazione» che deve essere introdotto nel nostro problema Agente-Principale. Lo schema di regolamentazione potrà allora essere ricavato come soluzione del programma indicato qui di seguito:

$$[14] \quad \max_{T(p),x} \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [\pi(x) - D(p) - v(T(p)) + u(T(p))]\, f(p;\, x)\, dp$$

sotto i vincoli

$$\int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [\pi(x) - v(T(p))]\, f(p;\, x) dp \geq W_0^a$$

$$\int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v(T(p))\, f_x(p;\, x) dp = \pi_x$$

dove W_0^a indica la *reservation utility* dell'impresa, e p deve essere ora interpretata come una variabile casuale che svolge, nel contesto di questo programma, lo stesso ruolo svolto da λ nell'ambito del programma [5], [6], [7].

Formando la lagrangiana, con i moltiplicatori μ_1 e μ_2 (indipendenti da p) associati ai rispettivi vincoli, otteniamo le seguenti condizioni del primo ordine:

$$[15] \quad \frac{u'(T(p))}{v'(T(p))} = 1 + \mu_1 + \mu_2 \frac{f_x(p;\, x)}{f(p;\, x)}$$

$$[16] \quad \pi_x - \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [D(p) + v(T(p)) - u(T(p))]\, f_x(p;\, x) dp + \\ + \mu_2[\pi_{xx} - \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v(t(p)) f_{xx}(p;\, x) dp] = 0$$

$$[17] \quad \mu_1 \geq 0 \qquad \mu_1[\int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [\pi(x) - v(T(p))] f(p;\, x) dp - W_0^a] = 0$$

Le prime due equazioni, insieme alla [12], costituiscono la soluzione del problema di ottimo. In particolare, $T(p)$ e x vengono rispettivamente determinati attraverso le equazioni [15] e [13], e μ_2 viene determinato come soluzione dell'equazione [16]. Quanto a μ_1, la sua positività discende dalla condizione di Kuhn-Tucker [17].

In base alla soluzione derivata nel paragrafo precedente assumendo la monitorabilità di x, sappiamo che $T(p)$ costituisce uno schema di tassazione Pareto ottimale, sotto il profilo dell'allocazione del rischio tra le parti, se l'espressione alla destra del segno di uguale in [15] è costante. Poiché μ_1 è costante e positivo, tale espressione risulterà costante solo se $\left(\mu_2 \dfrac{f_x}{f}\right)$ non varia al variare di p. A sua volta,

$\left|\mu_2 \frac{f_x}{f}\right|$ risulterà costante solo se $f_x = 0$, la qual cosa, tuttavia, contraddirebbe l'assunzione precedentemente introdotta secondo cui $F_x < 0$ almeno in un certo intervallo di p. Ne deriva che un'allocazione ottimale del rischio tra le parti è possibile solo se $\mu_2 = 0$. Tuttavia, in base alle nostre assunzioni sulle funzioni di utilità e sulla funzione di distribuzione cumulata $F(p; x)$, è possibile provare la seguente proposizione:

PROPOSIZIONE [6]: se $\pi_x > 0$ e $F_x \leq 0$, allora $\mu_2 < 0$.
Dimostrazione: v. appendice A.1.

La proposizione suggerisce che il vincolo di incentivazione è sempre «attivo» e che, in base alla [15], lo schema di tassazione di *second best* non consentirà, a differenza di quello descritto dalla condizione [9], un'allocazione ottimale del rischio tra le parti. In altre parole, la necessità per l'agenzia di incorporare un «*incentive*» importa una distorsione rispetto a quanto avviene nella selezione dello schema di tassazione in assenza di asimmetria di informazione.

La direzione che assumerà tale distorsione dipenderà, in linea generale, da come f_x e f variano con p, e ciò, a sua volta, dipenderà dalle funzioni $g(\lambda)$ e $p\ (x, \lambda)$.

Differenziando totalmente la [15], ricaviamo:

$$[17'] \qquad \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p} = \frac{u'}{v'}\left[\frac{u''}{u'} = \frac{v''}{v'}\right]\mu_2\left[\frac{\mathrm{d}(f_x/f)}{\mathrm{d}p}\right]$$

cosicché, con $\mu_2 < 0$, dalla [17'] non si otterrà $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p} = 0$ come nel caso di informazione completa, a meno di particolari restrizioni sulla funzione $F\ (p; x)$.

Il termine f_x/f viene di regola indicato come «rapporto di verosimiglianza» e, come evidenziato in Holmström [1979], misura nel nostro caso la propensione, da parte dell'agenzia ad inferire, a partire dal valore del carico di inquinanti misurato nel corpo idrico ricettore, se l'impresa non ha realizzato un «corretto» impiego del fattore produttivo. Il rapporto in parola può essere interpretato come una sorta di misura dei benefici/costi di deviare rispetto ad un'allocazione otti-

[6] Tale proposizione costituisce un adattamento al nostro problema della proposizione 1 descritta in Holmström [1979, p. 78].

male del rischio tra le parti, e l'espressione [15] descrive la penalizzazione (o il vantaggio) che l'impresa pagherà (riceverà) in funzione di questo rapporto. Infatti, sulla base della precedente proposizione, è possibile derivare la seguente relazione tra lo schema di tassazione di *second best*, $T^{**}(p)$, e la soluzione di *first best*, T^* (v. appendice A.1.):

$$[18] \qquad \begin{cases} T^{**}(p) \geq T^* \text{ se } p \in P^+,\ P^+ = \{p \mid f_x(p; x) \geq 0\} \\ T^{**}(p) < T^* \text{ se } p \in P^-,\ P^- = \{p \mid f_x(p; x) < 0\} \end{cases}$$

Vale la pena notare che, se assumiamo che un maggiore livello di inquinanti nel corpo idrico costituisce un corretto segnale di un uso relativamente elevato – o comunque «improprio» – del fattore produttivo («monotonicità del rapporto di verosimiglianza»), l'agenzia formulerà uno schema di tassazione che prevede, per l'impresa esborsi crescenti all'aumentare della quantità di inquinanti osservata nel corpo idrico [7]: $\frac{dT^{**}(p)}{dp} \geq 0$. È possibile peraltro mostrare (si veda in proposito l'appendice A.2.) che la proprietà di monotonicità gioca un ruolo importante anche al fine di garantire l'unicità dello schema di tassazione di *second best*. Da ultimo, si noti che, poiché $\mu_2 < 0$ e il rapporto di verosimiglianza non è costante, la proposizione implica che la soluzione di *second best* è, sia per l'agenzia che per l'impresa, sempre peggiore, in senso stretto, di quella di *first best*.

3.4. Il caso di neutralità degli attori

Fino a questo punto abbiamo assunto che entrambi gli attori (agenzia e impresa/e) non siano neutrali al rischio rispetto alla tassa «ambientale» [8].

La rimozione, in questo paragrafo, di tale assunzione ha una duplice finalità. Da un lato mostrare che, in condizioni di neutralità, è possibile realizzare un'allocazione di *first best* del rischio anche a partire da una situazione di informazione asimmetrica sull'impiego del-

[7] Assumere tale proprietà pare abbastanza legittimo, anche se non possono essere escluse, a priori, situazioni in cui non sarebbe corretto assumerne l'esistenza. Si veda in proposito Grossman-Hart [1983].

[8] È opportuno tuttavia segnalare che, anche se l'impresa beneficiasse del passaggio ad una situazione di informazioni completa fornendo all'agenzia informazioni su x, potrebbe ugualmente manifestarsi un problema di *incentive compatibility*: se infatti il contratto venisse sottoscritto condizionatamente al passaggio di informazioni sull'impiego del fattore produttivo, l'impresa potrebbe avere un incentivo a dichiarare il falso.

l'input potenzialmente inquinante. Dall'altro, collocare, nell'ambito del nostro schema, alcuni risultati presentati in un noto lavoro di Segerson [1988] dedicato alla regolamentazione delle NPS.

Per semplicità assumiamo che $v(t) = T$ e $u(t) = (1 + \varrho)\,T$, con $\varrho \geq 0$. Il parametro ϱ può essere pertanto interpretato come l'utilità «sociale» marginale «netta» derivante dal prelievo di un'unità addizionale di tassa.

Dalla [15] si ottiene:

$$\text{[19]} \qquad \frac{u'}{v'} = (1 + \varrho) = 1 + \mu_1 + \mu_2 \frac{f_x(p;\, x)}{f(p;\, x)}$$

Poiché, in generale, $\mu_1 > 0$ e f_x/f non è costante, la condizione [19] non può essere soddisfatta a meno che $\mu_2 = 0$. Ne consegue che, in ipotesi di neutralità al rischio degli attori, l'imperfetta monitorabilità delle decisioni produttive non preclude la possibilità di ottenere una soluzione di *first best*. Infatti, dalla condizione [9], ricavata in assenza di asimmetrie di informazione, otteniamo $\varrho = \mu$, che, a sua volta, è equivalente alla condizione ricavata dalla [15]. Inoltre, dopo qualche sostituzione si ottiene la condizione:

$$\text{[20]} \qquad (1 + \varrho)\,\pi_x = \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} D(p) f_x(p;\, x)\,\mathrm{d}p$$

che è equivalente alla [8] in termini della variabile casuale p.

Nel caso particolare in cui $\varrho = 0$, vale a dire il prelievo fiscale non arrechi, di per sé, utilità all'agenzia, è possibile riscrivere la condizione [19] nel modo seguente:

$$\text{[19']} \qquad 0 = \mu_1 + \mu_2 \frac{f_x(p;\, x)}{f(p;\, x)}$$

È evidente dalla discussione che precede che tale condizione può essere soddisfatta solo se $\mu_1 = 0$ e/o $\mu_2 = 0$, in altre parole, se, tanto il vincolo di partecipazione, quanto quello di incentivazione, non sono attivi. Di fatto, dal punto di vista dell'agenzia, assumere $\varrho = 0$ implica la scomparsa di un *trade-off* diretto tra entrate derivanti dalla tassazione e «profitto operativo sociale» $(\pi(x) - D(p))$; in tali circostanze, non è necessario che il vincolo di partecipazione risulti attivo e ciò, a sua volta, trascina con sé la ridondanza del vincolo di incentivazione $(\mu_2 = 0)$.

Assumendo un diverso angolo visuale, in sede di analisi dello schema di regolamentazione, è legittimo non tener conto del vincolo di incentivazione nella misura in cui si ritenga che il *policy-maker* non attribuisca alcun peso alle entrate fiscali in quanto tali, $\varrho = 0$. In altri termini, il «prezzo» pagato dall'agenzia «rinunciando» ad assicurarsi che lo schema di regolamentazione sia *incentive compatible*, consiste nel consentire all'impresa di collocarsi al di sopra della sua *reservation utility*; ovviamente, tale «prezzo», in termini di «benessere sociale», sarà pari a zero se $\varrho = 0$.

Se la nostra interpretazione è corretta, i risultati proposti da Segerson [1988] possono essere analizzati secondo la prima delle due prospettive proposte. Quando $\varrho = 0$, dalla condizione di primo ordine [20], deduciamo che la tassa ottimale dovrebbe risultare uguale al danno sociale associato alla presenza di inquinanti nel corpo idrico: $T_{\varrho=0}(p) = D(p)$. Il sospetto inquinatore sarà quindi indotto a scegliere il livello di impiego del fattore produttivo socialmente ottimale ricavato dalla [20] con $\varrho = 0$. Tuttavia, la nuova soluzione di *first best* differisce da quella ottenuta in assenza di asimmetria di informazione e in condizioni di non neutralità al rischio, in quanto suggerisce uno schema di tassazione che non prevede più una tassa costante nei confronti di p e, all'ottimo, $T_{\varrho=0}(p) < \pi\,[x_{\varrho=0}\,(p, \bar{p})] - W_0^a$ [9].

4. Imperfetta monitorabilità delle caratteristiche del sito di produzione

Nella sezione che precede ci siamo concentrati sulla regolamentazione delle NPS, in presenza di asimmetrie di informazione attribuibili all'incapacità o impossibilità per l'agenzia di monitorare il livello di impiego di un fattore produttivo potenzialmente inquinante.

Come abbiamo già segnalato è possibile, tuttavia, immaginare altri possibili scenari di informazione asimmetrica. Ad esempio, situazioni in cui i potenziali inquinatori posseggono informazioni superiori riguardo le caratteristiche fisiche del sito di produzione. Come è stato sottolineato nel paragrafo 2, alcune di tali caratteristiche possono svolgere un ruolo non trascurabile non solo nei confronti della produttività degli input impiegati ma, nel caso delle NPS, anche nei confronti del processo di generazione di carichi inquinanti.

È evidente, quindi, che la disponibilità di adeguate informazioni su tali parametri consentirebbe all'agenzia di meglio selezionare il livello «socialmente» desiderabile di impiego del fattore produttivo.

In tali circostanze appare quindi auspicabile la formulazione di un «contratto» che possegga la proprietà di indurre il sospetto inquinatore a rivelare la propria «tipologia». Nelle pagine che seguono concen-

[9] L'ottimalità dello schema di tassazione lineare proposto da Segerson [1988], formulato adottando come base imponibile p, discende da alcune assunzioni riguardo le proprietà delle funzioni $D(p)$ e $f(p;\, x)$.

treremo l'attenzione sui contratti aventi come obiettivo quello di estrarre dall'impresa un «messaggio» contenente il vero valore assunto dai parametri che descrivono le caratteristiche fisiche «rilevanti» (θ) del proprio sito di produzione, vale a dire, concentreremo l'attenzione sui cosiddetti *direct transmission mechanisms*, focalizzando in particolare l'attenzione su quelli che posseggono la proprietà di indurre la rivelazione del vero valore di θ (*revelation principle*) [10].

In estrema sintesi, il problema che ha di fronte l'agenzia può essere descritto nel modo seguente. Dopo aver inviato un messaggio riguardo la propria tipologia, l'impresa riceverà dall'agenzia istruzioni circa il livello di impiego dell'input, $x(\theta)$, nonché riguardo la tassa da pagare, $T(\theta)$; nell'impartire tali «istruzioni» l'agenzia dovrà tener conto della possibilità che l'impresa potrebbe trovare conveniente celare la propria vera natura.

Al fine di semplificare l'analisi assumeremo che θ possa assumere solo due valori: θ_1 e θ_2. Con $\theta_1 < \theta_2$ indichiamo che la tipologia territoriale descritta da θ_1 è intrinsecamente più fragile sotto il profilo ambientale e, nel contempo, meno produttiva di quella descritta da θ_2.

Le proprietà principali della funzione di profitto dell'impresa risulteranno quindi:

$$\pi_x = \begin{cases} > 0 & x < x^* \\ = 0 & x = x^* \\ < 0 & x > x^* \end{cases} \quad , \; \pi_{xx} \leq 0$$

$$\pi_\theta > 0, \; \pi_{x\theta} > 0, \; \pi(0, \theta) = \pi(\bar{x}, \theta) = 0$$

dove x^* rappresenta il livello di impiego del fattore produttivo ottimale per l'impresa in assenza di regolamentazione. La funzione di danno:

$$L\,(x, \theta) \equiv D\,[p\,(R\,(x, \theta))]$$

possiede invece le seguenti proprietà: $L_x > 0$, $L_{xx} \geq 0$, $L_\theta < 0$, $L_{x\theta} < 0$, $L\,(0, \theta) = 0$.

Infine, per alleggerire l'analisi, assumiamo che sia l'impresa che l'agenzia siano neutrali al rischio rispetto alla tassa.

Seguendo un'impostazione divenuta pressoché convenzionale nella trattazione di problemi di *selezione avversa* (si veda, ad esempio, Rees

[10] Secondo il *revelation principle*, se dato un certo contratto, risulta conveniente per l'Agente nascondere la propria vera «natura», è sempre possibile costruire un contratto alternativo che, senza peggiorare il benessere delle parti, è in grado di indurre l'Agente a comunicare il vero valore di θ.

[1987]), richiamiamo la nozione di profitto operativo «sociale» dell'agenzia, π^p, definito come $\pi^p \equiv \pi \equiv \pi(x, \theta) - L\,(x, \theta)$, al fine di derivare la seguente funzione:

$$x = x\,(\pi^p, \theta) \quad , \quad x \geq 0$$

la quale, date le assunzioni su $\pi(\cdot)$ e $L(\cdot)$, gode delle seguenti proprietà:

$$\frac{\partial x}{\partial \pi^p} = \begin{cases} > 0 & x < x^{**} \\ < 0 & x > x^{**} \end{cases} \quad , \quad \frac{\partial^2 x}{\partial (\pi^p)^2} \geq 0, \quad x \neq x^{**}$$

dove x^{**} ($\leq x^*$) rappresenta il livello «socialmente» ottimale di impiego del fattore produttivo. La sostituzione di $x\,(\cdot)$ nella funzione di profitto dell'impresa consente di definire la funzione di utilità di quest'ultima, W^a, nello stesso spazio, (π^p, T), in cui viene definita quella dell'agenzia, W^p, dove:

$$[21] \quad W^p = [\pi(x, \theta) - L\,(x, \theta)] + \varrho T \equiv \pi^p + \varrho T \quad , \quad \varrho \geq 0$$

Uno schema di tassazione ottimale può quindi essere definito a partire dal seguente programma:

$$[22] \quad \max_{T(\theta), \pi^p(\theta)} \{\alpha[\pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - L(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) + \varrho T_1] + (1 - \alpha)[\pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) - L(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) + \varrho T_2]\}$$

s.t.

$$[23] \quad \pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - T_1 \geq W_0^a$$

$$[24] \quad \pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) - T_2 \geq W_0^a$$

$$[25] \quad \pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - T_1 \geq \pi(x(\pi_2^p, \theta_1), \theta_1) - T_2$$

$$[26] \quad \pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) - T_2 \geq \pi(x(\pi_1^p, \theta_2), \theta_2) - T_1$$

dove W_0^a è la *reservation utility* dell'impresa e α è la probabilità, nota ad entrambi gli attori, assegnata all'evento $\theta = \theta_1$. Le disuguaglianze [23] e [24] descrivono i vincoli di partecipazione («*individual rationality constraints*»), mentre le [25] e [26] costituiscono i vincoli di incentivazione («*self-selection constraints*»).

La sostituzione effettuata implica che la variabile di scelta rilevante per l'agenzia non è più costituita dal livello di impiego del fattore produttivo ma dal profitto operativo «sociale»; è evidente tuttavia che, data la relazione x (π^p, θ), a tale scelta corrisponderà un certo livello di impiego ottimale del fattore produttivo.

Attraverso un'esposizione diagrammatica è possibile mostrare le principali proprietà dello schema di tassazione ottimale desumibile dalla soluzione del programma [22]-[26].

Iniziamo col tracciare la curva di indifferenza dell'impresa corrispondente ad un certo valore di θ, nell'ipotesi che il vincolo di partecipazione sia attivo (per la costruzione della curva si rimanda all'appendice A.3.).

Si noti che, data l'assunzione di neutralità al rischio, rispetto alla tassa, valori di $W^a > W_0^a$ sono descritti da curve di indifferenza traslate, rispetto a quella descritta in fig. 9.1, nella direzione indicata dalle frecce (cosicché, per dato π^p, la tassa dovrà diminuire). Poiché la funzione di utilità dell'agenzia è, nello spazio (π^p, T), lineare con pendenza negativa $(-\ 1/\varrho)$, la porzione della curva di indifferenza dell'impresa nell'ambito della quale dovrà essere ricercata l'ottima combinazione di tassa e profitto «sociale» operativo sarà compresa tra

$$(\pi_i^p(x_i^{**}), T_i(x_i^{**}) \text{ e } (\pi_i^p(x_i^{*}), T_i(x_i^{*})), i = 1, 2.$$

Per un qualsivoglia valore di $\varrho \geq 0$, al fine di identificare una soluzione di equilibrio, assumiamo che al variare di θ la curva di indifferenza dell'impresa si sposti nel modo indicato in fig. 9.1. In altre parole, nell'intervallo sopra indicato la curva superiore, relativa all'impresa operante in un ambito territoriale meno produttivo e più fragile sotto il profilo ambientale, è più inclinata rispetto a quella relativa all'impresa del tipo θ_2.

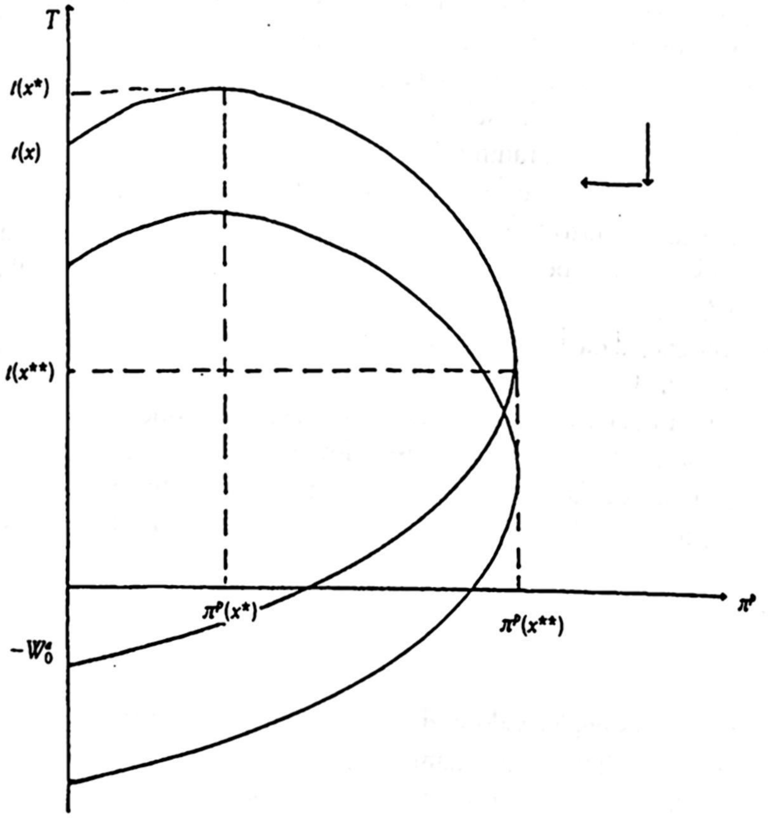
Soffermiamoci brevemente sulle proprietà dello schema di regolamentazione suggerite dalla fig. 9.2. Per dato livello di π^p quanto maggiore è l'ammontare della tassa, tanto più elevata sarà l'utilità dell'agenzia. In altre parole, l'agenzia certamente preferirà mantenere l'impresa alla sua *reservation utility*. Tale risultato, tuttavia, non può essere conseguito per entrambe le imprese in quanto è sempre possibile e conveniente per quella operante in θ_2 rivendicare la propria appartenenza alla classe θ_1. Infatti, assumiamo che l'agenzia offra il seguente contratto

$$[\pi^p(x_1^0), T\ (x_1^0)]$$

se l'impresa dichiara di operare sul terreno più fragile, e

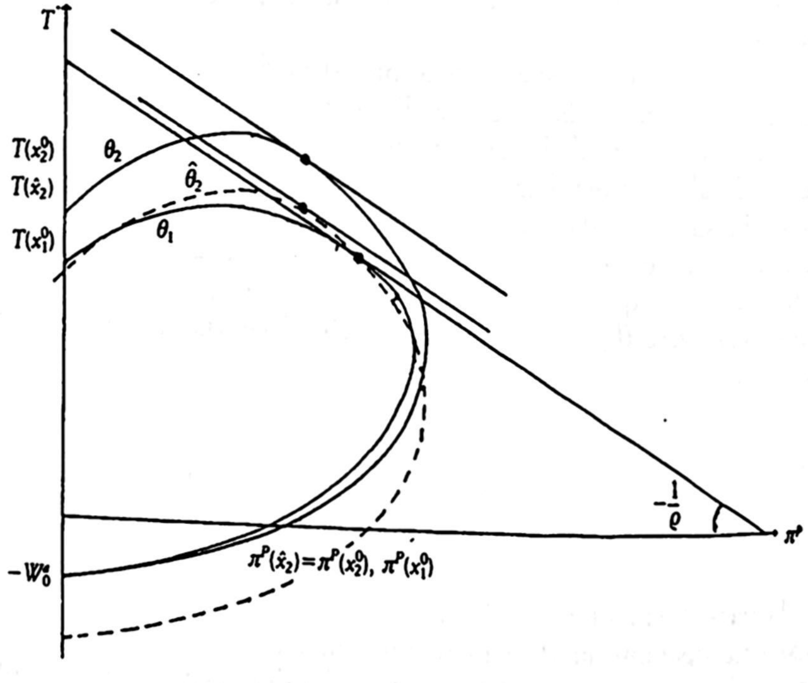
$$[\pi^p(x_2^0), T\ (x_2^0)]$$

se dichiara di appartenere alla classe θ_2. Chiaramente l'impresa effettivamente operante in θ_2 avrà sempre un interesse a celarsi sotto le vesti dell'impresa θ_1 in quanto il primo dei due contratti le consentirebbe di posizionarsi su un livello di utilità superiore. Infatti, la per-



T
$t(x^*)$
$t(x)$
$t(x^{**})$
$\pi^P(x^*)$
$\pi^P(x^{**})$
π^P
$-W_0^a$

FIG. 9.1.



T
$T(x_2^0)$
θ_2
$T(\hat{x}_2)$
$\hat{\theta}_2$
$T(x_1^0)$
θ_1
$-\frac{1}{\varrho}$
π^P
$-W_0^a$
$\pi^P(\hat{x}_2)=\pi^P(x_2^0),\ \pi^P(x_1^0)$

FIG. 9.2.

dita di utilità derivante dalla prescrizione di utilizzare un livello inferiore di fattore produttivo sarebbe più che compensata dalla riduzione di prelievo fiscale. In equilibrio, quindi, lo schema di tassazione dovrà essere definito in modo tale da «giacere» su una curva di indifferenza, $\hat{\theta}_2$, passante per il punto $[\pi^p(\hat{x}_2), T(\hat{x}_2)]$. In tal modo se $\theta = \theta_2$, l'impresa troverà indifferente riferire o meno la propria natura in quanto:

$$\pi(x_1^0, \theta_2) - T(x_1^0) = \pi(\hat{x}_2, \theta_2) - T(\hat{x}_2)$$

e, assumendo la validità del *revelation principle*, riporterà la propria vera tipologia. D'altro canto, se $\theta = \theta_1$, l'impresa riporterà ovviamente la propria vera natura in quanto $[\pi^p(\hat{x}_2), T(\hat{x}_2)]$ ciò le consentirà di collocarsi su una curva di indifferenza più bassa (vale a dire, su un livello di utilità inferiore).

La possibilità di ottenere l'equilibrio di *second-best* appena descritto presuppone la validità della «proprietà di monotonicità» che si desume dai vincoli di incentivazione. Tale proprietà richiede che in equilibrio x aumenti all'aumentare di θ e la condizione si verifica se:

$$[27] \quad \pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - \pi(x(\pi_2^p, \theta_1), \theta_1) + \pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) - \pi(x(\pi_1^p, \theta_2), \theta_2) \geq 0$$

Nell'ambito del nostro modello «discreto», la [27] è di fatto equivalente alla *Spence-Mirrlees sorting condition* che garantisce, come è noto, l'esistenza di un *separating equilibrium* (si veda in proposito l'appendice A.3.).

Poiché è nell'interesse dell'agenzia mantenere quanto più alto possibile il livello di tassazione, in equilibrio solo due dei quattro vincoli descritti in precedenza risulteranno attivi, vale a dire [23] e [26]. In altre parole, lo schema di tassazione ottimo scoraggerà l'impresa operante nel sito meno fragile dal rivendicare la propria appartenenza alla tipologia θ_1, mentre quella effettivamente operante in quest'ultimo, dal canto suo, non avrà convenienza a celarsi sotto le vesti di θ_2 (vale a dire, il vincolo [25] non è attivo). Tuttavia, estrarre tali informazioni ha un costo per l'agenzia, rappresentato, nel caso in cui $\theta = \theta_2$, dal fatto che l'impresa riceverà più della propria *reservation utility* (vale a dire, il vincolo [24] non è attivo); l'impresa «fornirà» all'agenzia lo stesso livello di profitto «sociale» operativo, ma incorrerà in un esborso inferiore rispetto a quello che avrebbe dovuto sostenere se la tassa fosse stata definita a partire da una situazione di completa informazione.

Tale minore esborso può essere interpretato come l'ammontare massimo di risorse meritevoli di essere investite, da parte dell'agenzia, nella raccolta diretta di informazioni finalizzata al superamento della situazione di informazione incompleta.

Poiché in equilibrio i vincoli [24] e [25] non sono attivi, lo schema di regolamentazione può essere derivato dal programma costituito dalle sole [22]-[23]-[26] da cui si ottiene:

$$[28] \quad \begin{aligned} T_1 &= \pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - W_0^a \\ T_2 &= \pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) + [\pi(x(\pi_1^p, \theta_1), \theta_1) - \pi(x(\pi_1^p, \theta_2), \theta_2)] \end{aligned}$$

dove l'espressione fra parentesi quadra è negativa ed inferiore, in valore assoluto, a W_0^a. In altre parole possiamo interpretare lo scarto tra questo termine e W_0^a come un «premio di informazione» concesso all'impresa dall'agenzia se $\theta = \theta_2$.

Infine, notiamo che:

$$[29] \quad T_2 - T_1 = \pi(x(\pi_2^p, \theta_2), \theta_2) - \pi(x(\pi_1^p, \theta_2), \theta_2)\, W_0^a > 0$$

dove la positività discende dal vincolo di incentivazione [27] e dalla condizione di monotonicità [28]; in altri termini è conveniente per l'agenzia corrispondere all'impresa un premio, il quale assume la forma di un esborso fiscale minore rispetto a quello dovuto in condizioni di informazione completa, al fine di «separare» le due tipologie d'impresa.

5. Conclusioni

Le pagine che precedono contengono un tentativo preliminare di caratterizzazione di alcuni schemi di regolamentazione per il controllo delle NPS, nell'ipotesi di asimmetrie di informazione che danno luogo a problemi di azzardo morale o selezione avversa.

La plausibilità degli scenari proposti dipende, evidentemente, dalla natura delle informazioni effettivamente disponibili per le agenzie deputate, nei diversi paesi, al controllo delle NPS. È probabile che agenzie operanti in paesi con lunga e consolidata tradizione nel campo della classificazione dei terreni e del monitoraggio dei processi produttivi, non debbano confrontarsi con rilevanti problemi di informazione asimmetrica. Tuttavia in paesi, e l'Italia è probabilmente tra questi, che non posseggono tali tradizioni o in cui i dati solitamente raccolti risultano inutilizzabili al fine di stimare le emissioni attraverso i modelli attualmente disponibili, l'attività di regolamentazione può essere seriamente affetta dai problemi discussi in questa nota.

Appendice

A.1. Per dimostrare la proposizione verrà seguita la stessa procedura suggerita da Holmström [1979, 90].

Contrariamente all'enunciato della proposizione supponiamo che $\mu_2 \geq 0$. Allora:

$$\text{[1a]} \quad \frac{u'(T(p))}{v'(T(p))} = 1 + \mu_1 + \mu_2 \frac{f_x}{f} \geq 1 + \mu_1 = \frac{u'(T^*)}{v'(T^*)}$$

per $p \in P^+ = \{p \,/\, f_x\,(p; x) \geq 0\}$, dove T^* è la tassa di *first best*, costante in p. Poiché il rapporto u'/v' è decrescente in $T(p)$, per un fissato valore di p, dalla [1a] otteniamo $T(p) \leq T^*$. Inoltre, $T(p) > T^*$ se $p \in P^-$, dove $P^- = \{P \,/\, f_x\,(p; x) < 0\}$.

Data l'equazione [16] e sostituendo l'equazione [12] otteniamo:

$$\text{[2a]} \quad \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [-D(p) + 2v(T(p)) - u(T(p))] f_x(p; x)\mathrm{d}p + \mu_2[\pi_{xx} - \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v(T(p)) f_{xx}(p; x)\mathrm{d}p] = 0$$

Si noti che, poiché la seconda espressione in [2a] non è altro che la condizione del secondo ordine per un massimo e, quindi, negativa, se il primo integrale è minore di zero la [2a] non risulta soddisfatta a meno che $\mu_2 < 0$. Di fatto è possibile mostrare che questo è il caso:

$$\text{[3a]} \quad \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [-D(p) + 2v(T(p)) - u(T(p))] f_x(p; x)\mathrm{d}p \leq \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [- D(p) + 2v(T^*) - u(T^*)] f_x(p; x)\mathrm{d}p] < 0$$

dove la seconda diseguaglianza discende dall'ipotesi che $F_x \leq 0$ e dalla costanza di T^*, mentre la prima dall'assunzione: $v'u - vu' \geq 0$.

Combinando la [2a] e la [3a] otteniamo $\mu_2 < 0$, la qual cosa contraddice l'ipotesi con la quale abbiamo introdotto questa prova, confermando l'enunciato della proposizione. C.V.D.

A.2. Al fine di garantire l'esistenza di una soluzione ottimale per il problema Agente/Principale, abbiamo assunto che la condizione del secondo ordine per la massimizzazione dell'utilità dell'impresa sia soddisfatta, un'assunzione questa che, tuttavia, potrebbe risultare ingiustificata. Inoltre è di regola difficile stabilire l'unicità della soluzione, unicità che implica la stretta concavità nell'argomento x della funzione di utilità dell'impresa sotto lo schema di tassazione ottimale $T\,(p)$.

Integrando per parti la funzione obiettivo dell'impresa si ottiene:

$$\text{[4a]} \quad \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} [\pi(x) - v(T(p))] f(p; x)\mathrm{d}p = = \pi(x) + \int_{\underline{p}}^{\bar{p}} v'(T(p))T'(p)F(p; x)\mathrm{d}p] - v(T(\bar{p}))$$

dove $v(T(\bar{p}))$ è indipendente da x in quanto $F(\underline{p}; x) = 0$ e $F(\bar{p}; x) = 1$ per qualsivoglia valore di x. Poiché assumiamo che $\pi\,(x)$ sia una funzione concava e $v'(T) > 0$, la funzione obiettivo risulterà concava in x se $T'(p) \geq 0$ e $F_{xx}(p; x) \leq 0$.

Come mostrato da Mirrlees [1975], Grossman-Hart [1983] e Rogerson [1985], queste due condizioni sono sufficienti a garantire l'unicità della soluzione e l'equazione [15] descrive l'ottimo schema di incentivo.

Se introduciamo la proprietà di monotonicità del rapporto di verosimiglianza dalla [17] otteniamo $T'(p) \geq 0$.

Per quanto concerne la seconda condizione essa sarà soddisfatta se per ogni x_1 e x_2, p e $\alpha \in (0, 1)$ risulta:

$$F(p; \alpha x_1 + (1 - \alpha)x_2) \geq \alpha F(p; x_1) + (1 - \alpha) F(p; x_2)$$

così che il livello di impiego del fattore produttivo $\alpha x_1 + (1 - \alpha) x_2$ è inferiore in senso stocastico ad x_1 con probabilità α e ad x_2 con probabilità $(1 - \alpha)$.

A.3. In questa appendice verrà mostrato come la curva di indifferenza dell'impresa può essere rappresentata nello spazio (π^p, T), dove $\pi^p \equiv \pi(\cdot) - L(\cdot)$ esprime il profitto operativo «sociale» dell'agenzia.

Sulla base delle assunzioni introdotte riguardo $\pi(\cdot)$ e $L(\cdot)$, quando il vincolo di partecipazione è attivo la curva di indifferenza dell'impresa possiede la seguente proprietà:

$$[5a] \qquad \frac{dT}{d\pi^p} = \frac{\pi_x}{\pi_x - L_x} = \begin{cases} > 1 & 0 < x < x^{**} \\ < 0 & x^{**} < x < x^* \\ > 0 & x > x^* \end{cases}$$

vale a dire, la curva di indifferenza risulterà crescente con inclinazione positiva fino al punto in cui è massimo il profitto operativo dell'agenzia $(\pi^p(x^{**}), T(x^{**}))$, e crescente con inclinazione negativa tra i punti $(\pi^p(x^{**}), T(x^{**}))$ e $(\pi^p(x^*), T(x^*))$, dove $(\pi^p(x^*) \leq (\pi^p(x^{**})$ e $T(x^{**}) \leq T(x^*)$. Inoltre decresce con inclinazione positiva in tutti i punti $(\pi^p(x) < (\pi^p(x^*)$.

Se consideriamo ora la derivata seconda otteniamo:

$$[6a] \qquad \frac{d^2T}{d(\pi^p)^2} = \pi_{xx} \left(\frac{\partial x}{\partial \pi^p}\right)^2 + \pi_x \frac{\partial^2 x}{\partial (\pi^p)^2} =$$

$$= \frac{1}{(\pi_x - L_x)^2} \left[\pi_{xx} - \frac{\pi_x}{\pi_x - L_x} (\pi_{xx} - L_{xx})\right]$$

Dalla [6a] e dalla concavità della funzione di profitto operativo dell'agenzia otteniamo:

$$
\text{[7a]} \qquad \frac{\mathrm{d}^2 T}{\mathrm{d}(\pi^p)^2} = \begin{cases} > 0 & 0 < x < x^{**} \\ < 0 & x^{**} < x < x^{*} \\ ? & x > x^{*} \end{cases}
$$

Inoltre, date le proprietà di regolarità $\pi(\cdot)$ e $L(\cdot)$, valgono i seguenti limiti:

$$
\lim_{x \to x^{*-}} \left(\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\pi^p} \right) = 0^+ \quad ; \qquad \lim_{x \to x^{*+}} \left(\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\pi^p} \right) = 0^- \quad ;
$$

$$
\lim_{x \to x^{**-}} \left(\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\pi^p} \right) = + \infty \quad ; \qquad \lim_{x \to x^{**+}} \left(\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\pi^p} \right) = - \infty \quad ;
$$

$$
\lim_{x \to \bar{x}^{+}} \left(\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\pi^p} \right) = 0^+ \qquad \text{se} \lim_{x \to \bar{x}^{+}} \pi_x = + \infty
$$

Sulla base delle proprietà descritte, la curva di indifferenza dell'impresa assumerà la forma descritta in fig. 9.1 del testo.

Al fine di descrivere le implicazioni di una variazione di θ nei confronti della posizione della curva si considerino le seguenti derivate parziali:

$$
\text{[8a]} \qquad \frac{\partial T}{\partial \theta} = \left(1 - \frac{\pi_x}{\pi_x - L_x} \right) \pi_\theta + \left(\frac{\pi_x}{\pi_x - L_x} \right) L_\theta =
$$

$$
= \begin{cases} < 0 & x < x^{**} + \mathrm{d}x^{**} \\ > 0 & x > x^{**} + \mathrm{d}x^{**} \end{cases}
$$

e

$$
\text{[9a]} \qquad \frac{\partial \left(\dfrac{\partial T}{\partial \pi^p} \right)}{\partial \theta} = \left(\pi_{xx} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \pi_{x\theta} \right) \frac{\partial x}{\partial \pi^p} + \pi_x \frac{\partial^2 x}{\partial \pi^p \partial \theta}
$$

La prima derivata afferma che, al crescere di θ, T diminuisce nel tratto crescente del profitto operativo «sociale» ed invece aumenta nel tratto in cui il profitto operativo «sociale» diminuisce. In questo modo la curva di indifferenza che corrisponde ad un livello di θ più alto è sempre superiore a quella corrispondente ad un livello di θ basso (fig. 9.2).

Per quanto concerne la seconda derivata, questa può essere riscritta nel modo seguente:

$$[10a] \qquad \frac{\partial\left(\dfrac{\partial T}{\partial \pi^p}\right)}{\partial \theta} = \left\{\left[\left(1 - \frac{\pi_x}{\pi_x - L_x}\right)\pi_{xx} + \left(\frac{\pi_x}{\pi_x - L_x}\right)L_{xx}\right]\frac{\partial x}{\partial \theta} + \right.$$

$$\left. + \left(1 - \frac{\pi_x}{\pi_x - L_x}\right)\pi_{x\theta} + \left(\frac{\pi_x}{\pi_x - L_x}\right)L_{x\theta}\right\}$$

Si noti che sotto le nostre assunzioni la [6a] è sicuramente negativa per $x \in (0, x^{**} + dx^{**})$: vale a dire, richiediamo che la derivata parziale sia localmente definita nell'intorno di x^{**}. Per quanto concerne $x \in (x^{**} + dx^{**}, x^* + dx^*)$, osserviamo che:

$$\frac{\partial\left(\dfrac{\partial T}{\partial \pi^p}\right)}{\partial \theta} = \begin{cases} < 0 \quad \text{se} & \begin{cases} \pi_{xx}\dfrac{\partial x}{\partial \theta} + \pi_{x\theta} > 0, \quad \text{e} \\ \dfrac{\partial x}{\partial \theta}(\pi_{xx} - L_{xx}) + (\pi_{x\theta} - L_{x\theta}) > 0 \end{cases} \\ > 0 & \text{viceversa} \end{cases}$$

A questo punto è opportuno notare che la [8a] presa con il segno negativo può essere interpretata come la derivata rispetto a θ del saggio marginale di sostituzione $SMS_{\pi^p, T}$ definito come:

$$SMS_{\pi^p, T} \equiv \frac{\dfrac{\partial W^a}{\partial \pi^p}}{\dfrac{\partial W^a}{\partial T}} = -\,\pi_x \frac{\partial x}{\partial \pi^p} \equiv -\,\frac{\partial T}{\partial \pi^p}$$

Come è noto, in base alla *Spence-Mirrlees sorting condition*, la positività di $\dfrac{\partial(SMS_{\pi^p, T})}{\partial \theta}$ garantisce l'esistenza di un *separating equilibrium*. Ne consegue che, ai fini della soluzione del nostro problema, si richiede che $\dfrac{\partial\left(\dfrac{\partial T}{\partial \pi^p}\right)}{\partial \theta} < 0$ o, in altre parole, che siano simultaneamente soddisfatte le seguenti condizioni:

$$[11a] \qquad \pi_{xx}\frac{\partial x}{\partial \theta} + \pi_{x\theta} > 0, \ \frac{\partial x}{\partial \theta}(\pi_{xx} - L_{xx}) + (\pi_{x\theta} - L_{x\theta}) > 0$$

Poiché nell'intervallo $x \in (x^{**} + dx^{**}, x^* + dx^*)$ risulta $\dfrac{\partial x}{\partial \theta} > 0$, è possibile verificare che una condizione sufficiente tale da soddisfare tale requisito è rappresentata da:

$$[12a] \quad \frac{\partial x}{\partial \theta} > - \frac{\pi_{x\theta} - L_{x\theta}}{\pi_{xx} - L_{xx}}$$

In sintesi, quando θ aumenta la curva di indifferenza dell'impresa subirà una traslazione verso destra, risulterà meno inclinata per $x \in (0, x^{**} + dx^{**})$ e, se vale la condizione [12a], più inclinata per $x \in (x^{**} + dx^{**}, x^{*} + dx^{*})$ come mostra la fig. 9.2.

Abbiamo così che, data la monotonicità di π rispetto a θ, la condizione [11a] risulta sufficiente a garantire che l'impresa riporterà all'agenzia il vero valore di θ.

Riferimenti bibliografici

Consorzio Venezia Nuova (1989), *L'inquinamento di origine agricola della laguna di Venezia*, Venezia, Consorzio Venezia Nuova.

Griffin, R. e Bromley, D. (1982), *Agricultural Runoff as a Nonpoint Externality*, in «American Journal of Agricultural Economics», vol. 64, pp. 547-552.

Grossman, S. e Hart, O. (1983), *An Analysis of the Principal-Agent Problem*, in «Econometrica», vol. 51, pp. 7-45.

Hart, O. e Holmström, B. (1987), *The Theory of Contracts*, in *Advances in Economic Theory, Fifth World Congress*, a cura di Bewley, T., Cambridge (Mass.), Cambridge University Press.

Hartley, A. G. (1986), *Controlling Nitrogen Fertilizer Use: an Analysis of the Impact of Selected Policies on Farm Income and Output*, in «Bulletin», n. 205, Dep. of Agricultural Economics, University of Manchester.

Holmström, B. (1979), *Moral Hazard and Observability*, in «Bell Journal of Economics», vol. 10, pp. 74-91.

Jacobs, J. J. e Casler, L. L. (1979), *Internalizing Externalities of Phosphorus Discharges from Crop Production to Surface Water: Effluent Taxes versus Uniform Reductions*, in «American Journal of Agricultural Economics», pp. 309-312.

Knisel, W. G. (1980), *CREAMS: a Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*, Rep. n. 26, U. S. Department of Agriculture.

Kramer, R. A., Mc Sweeny, W. T., Kerns, W. R. e Stavros, R. W. (1984), *An Evaluation of Alternative Policies for Controlling Agricultural Nonpoint Source Pollution*, in «Water Resource Bulletin», vol. 20, pp. 841-846.

Mirrlees, J. (1974), *Notes on Welfare Economics, Information and Uncertainty*, in *Essays in Economic Behavior in Uncertainty*, a cura di Balch, M., McFadden, D. e Wu, S., Amsterdam, North-Holland.

— (1975), *The Theory of Moral Hazard and Unobservable Behavior*, Part I, Oxford, Nuffield College, dattiloscritto.

Moore, I. C., Sharp, B. M. H., Berkowitz, S. J. e Schneider, R. R. (1979), *Financial Incentives to Control Agricultural Nonpoint-Source Pollution*, in «Journal of Soil and Water Conservation», pp. 60-64.

Novotny, V. (1989), *L'impatto degli scarichi di nutrienti sui corpi d'acqua*, in *L'abbattimento dei nutrienti di origine diffusa per il controllo dell'eutrofizzazione*, a cura di Capodoglio, A. G. e Novotny, V., dattiloscritto.

Rees, R. [1987], *The Theory of Principal and Agent*, Part II, in *Surveys in Economics of Uncertainty*, a cura di Hey, J. D. e Lambert, P. J., Oxford, Basil Blackwell.

Rinaldo, A. e Marani, A. (1987), *Basin Scale Model of Solute Transport*, in «Water Resources Research», vol. 23, pp. 2107-2118.

Rogerson, W. (1985), *The First-Order Approach to Principal-Agent Problem*, in «Econometrica», vol. 53, pp. 1357-1368.

Segerson, K. (1988), *Uncertainty and Incentives for Nonpoint Pollution Control*, in «Journal of Environmental Economics and Management», vol. 15, 15, pp. 87-98.

Shortle, J. S. e Dunn, J. W. (1986), *The Relative Efficiency of Agricultural Source Water Pollution Control Policies*, in «American Journal of Agricultural Economics», vol. 68, pp. 667-668.

Shavell, S. (1979), *Risk Sharing and Incentives in the Principal and Agent Relationship*, in «Bell Journal of Economics», vol. 10, pp. 55-73.

Taylor, R. C. (1975), *A Regional Market for Rights to Use Fertilizer as a Mean of Achieving Water Quality Standards*, in «Journal of Environmental Economics and Management», vol. 2, pp. 7-17.

Taylor, R. C. e Frohberg, K. K. (1977), *The Welfare Effects of Erosion Control, Banning Pesticides, and Limiting Fertilizer Application in the Corn Belt*, in «American Journal of Agricultural Economics», vol. 59, pp. 25-36.

Vigon, B. W. (1985), *Non point Source Pollution*, Bethesda, American Water Resources Association.

Zingales, F. e Giorgini, G. (1987), *Agricultural Nonpoint Source Pollution: Model Selection and Application*, Amsterdam, Elsevier.