

1. Introduzione

Nel capitolo 16 sono state ricavate le condizioni fondamentali per l'uso ottimale di una risorsa rinnovabile, e si è notato che se il raccolto fosse sempre minore o uguale al prodotto sostenibile, lo stock della risorsa non verrebbe completamente distrutto: tasso ottimale di *utilizzo* della risorsa è stato il concetto cui abbiamo fatto riferimento. Nel caso delle risorse non rinnovabili, invece, non si può parlare di sviluppo sostenibile, perché la risorsa verrà distrutta fino a quando il tasso di utilizzo, il «raccolto», sarà positivo. Dobbiamo, quindi, riformulare la questione in questo contesto: bisogna, cioè, conoscere il tasso ottimale di *utilizzo* della risorsa non rinnovabile.

2. La regola fondamentale di utilizzo delle risorse non rinnovabili

Nel capitolo 16 si è visto che la regola fondamentale per un uso ottimale di una risorsa rinnovabile con un costo di raccolto pari a zero era:

$$[18.1] \quad F'(X) + \frac{\dot{P}}{P} = s$$

Nel caso di una risorsa non rinnovabile non abbiamo una funzione di crescita perché la risorsa è in quantità fissa; quindi, $F'(X)=0$, e, modificando, di conseguenza, l'equazione [18.1], otterremo

$$[18.2] \quad \frac{\dot{P}}{P} = s$$

L'equazione [18.2] costituisce la regola fondamentale di analisi economica sull'uso delle risorse non rinnovabili: secondo questo principio la risorsa dovrebbe essere sfruttata in modo tale che il tasso di crescita del prezzo della risorsa utilizzata sia uguale al tasso di sconto. È bene notare che questa regola si applica solo nei casi più semplici, ad esempio, nell'ipotesi di costi nulli di estrazione della risorsa cosicché il prezzo della risorsa estratta è il medesimo di quella «nella terra» (altre semplificazioni saranno messe in evidenza a tempo debito). L'equazione [18.2] è nota come *regola di Hotelling* dal nome dell'economista Harold Hotelling che provò questo importante risultato nel 1931; una variante che esprime però lo stesso tipo di relazione è la seguente:

$$[18.3] \quad P_t = P_0 e^{st}$$

ossia, il prezzo della risorsa in ogni periodo t è uguale al prezzo ad un certo istante iniziale (0) moltiplicato per un fattore di montante, dove s indica il tasso di sconto. In altri termini, colui che possiede la risorsa dovrebbe essere indifferente tra un'unità della risorsa oggi al prezzo P_0 e la stessa unità della risorsa nell'anno t al prezzo $P_0 e^{st}$, e questo ci conferma uno dei risultati che si sono ottenuti nel capitolo 16, cioè che l'analisi economica delle risorse naturali considera le risorse «nella terra» al pari di beni capitali: lasciando le risorse nella terra, infatti, (ovvero preservandole) il possessore della risorsa può attendersi dei guadagni in conto capitale se il prezzo della risorsa cresce nel tempo; lo stesso possessore sarà indifferente tra il mantenere la risorsa nella terra ed estrarla qualora il tasso di guadagno in conto capitale (\dot{P}/P) sia uguale al tasso di interesse (s) sulle attività alternative.

Ora, finché manteniamo l'ipotesi irrealistica di estrazione senza costo della risorsa, il prezzo della risorsa nel sottosuolo sarà uguale a quello della risorsa estratta (il prezzo «di superficie», *well head*, come è spesso noto in letteratura); ma se i costi di estrazione sono positivi, i due prezzi divergono: il prezzo della risorsa in superficie è P , mentre il prezzo della risorsa nella terra è $P - C(X)$ (dove $C(X)$ rappresenta il costo di estrazione), meglio noto come *royalty* (un termine che deriva dai diritti dei sovrani alla proprietà delle risorse che si trovano nel sottosuolo).

Vediamo ora cosa accade alla regola di Hotelling quando i costi di estrazione sono positivi, e, per convenienza li ipotizziamo pari a $C(X)=C$, ossia i costi di estrazione sono costanti. Si ripensi alla versione completa dell'equazione fondamentale per l'uso ottimale delle risorse rinnovabili ricavata nel capitolo 16:

$$[18.4] \quad F'(X) - \frac{C'(X)F(X)}{P - C(X)} = s - \frac{\dot{P}}{P - C(X)}$$

Ponendo $F(X)=0$, $F'(X)=0$ e $C(X)=C$ otteniamo:

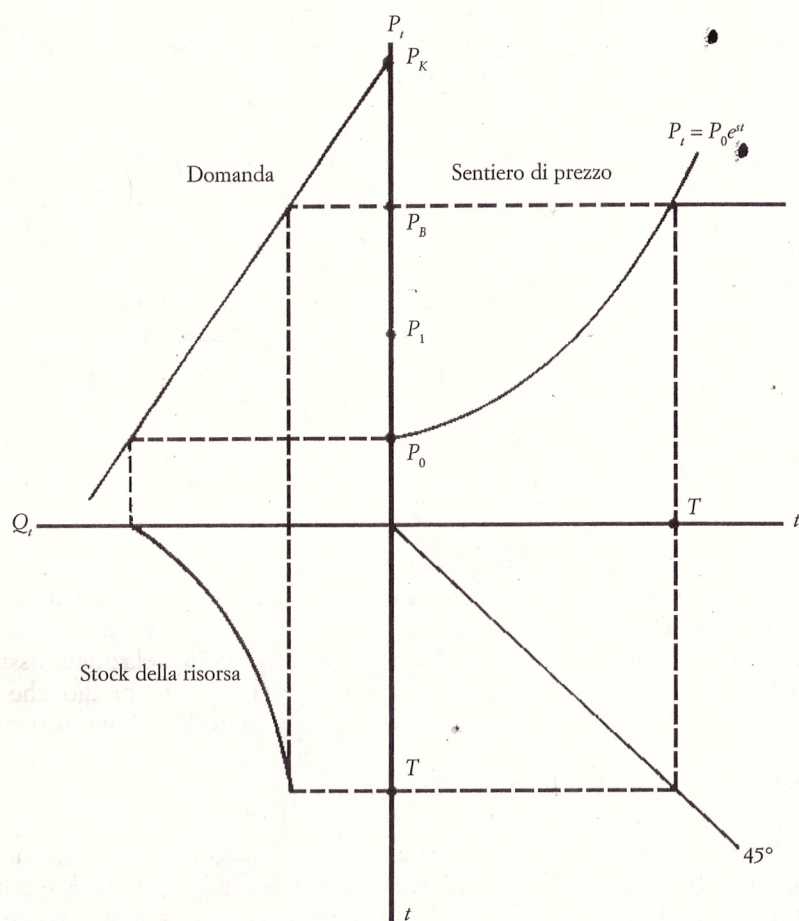


FIG. 18.1. Il sentiero di prezzo di Hotelling.

ma non si era detto in che modo viene determinato P_0 , che deve essere esso stesso un prezzo ottimale; inoltre, dobbiamo chiederci quanto tempo occorra per esaurire la risorsa in questione. Supponiamo di indicare con T l'istante di tempo in cui la risorsa si esaurisce; dobbiamo allora determinare P_0 e T ; a questo proposito utilizziamo un diagramma.

Nella figura 18.1 sono rappresentati quattro quadranti: il quadrante in alto a destra indica il sentiero del prezzo della risorsa nel tempo, in particolare il sentiero ottimale, con l'esaurimento della risorsa che ha luogo in T ; la pendenza del sentiero temporale del prezzo è determinata secondo la regola di Hotelling, cioè, il prezzo aumenta al tasso di sconto (interesse). Nel quadrante in alto a sinistra è rappresentata la domanda della risorsa «ruotata» di 180° gradi: più alto è il prezzo della risorsa, minore è la quantità domandata. Il quadrante in basso a destra è un quadrante *dummy*: la retta a 45° permette semplicemente di traslare una misura del tempo indicato sull'asse verticale in basso sull'asse orizzontale che va da sinistra verso destra. Nel quadrante in basso a sinistra, infine, è indicata la relazione tra quantità domandata (e, quindi, estratta), il tempo

e la quantità *cumulativa* estratta: l'area al disotto della curva rappresenta l'estrazione cumulata, e, poiché lo stock della risorsa è finito, si fissa l'area in modo che i livelli cumulati di produzione siano uguali allo stock della risorsa. Per verificare che P_0 e T sono i valori «corretti», si consideri P_1 e si supponga di fissarlo arbitrariamente come prezzo iniziale: vogliamo dimostrare che P_1 non è un prezzo iniziale ottimale. Se P_1 è il prezzo iniziale, il prezzo nel periodo successivo sarà $P_1 e^r$, e in ogni altro periodo t sarà $P_1 e^{rt}$; in questo modo il sentiero dei prezzi che ha P_1 come suo prezzo iniziale starà sempre al di sopra del sentiero indicato nel quadrante in alto a destra, la domanda sarà in ogni periodo minore di quella rappresentata nel quadrante in alto a sinistra, l'estrazione cumulata sarà perciò inferiore e lo stock della risorsa durerà più a lungo di T . Il fatto che P_1 non sia un prezzo iniziale ottimale dipende dal prezzo P_B che non abbiamo ancora menzionato: P_B è il prezzo della tecnologia sostitutiva, cioè a dire, quando il prezzo della risorsa esistente in quantità finita sale, ci sarà un qualche sostituto di questa risorsa. Il petrolio ottenuto da fonti tradizionali, ad esempio, è molto meno costoso del petrolio che si ricava dalle sabbie di catrame o dallo scisto; se il prezzo del petrolio aumenta, deve risulterne «colpito» il costo di estrazione del petrolio derivante da queste fonti più costose, e, P_B quindi serve ad «ancorare» la domanda, il prezzo e il sistema di produzione nella figura 18.1.

Si può ora comprendere perché P_1 non sia un prezzo iniziale ottimale. Il sentiero dei prezzi con P_1 come prezzo iniziale «toccherà» P_B prima del sentiero dei prezzi che ha P_0 come prezzo iniziale, con la conseguenza che la domanda sarà in ogni periodo minore con P_1 come prezzo iniziale che con P_0 come prezzo iniziale; ma se la domanda è inferiore, anche la produzione cumulata sarà più bassa e lo stock non verrà esaurito nel momento in cui P_B viene raggiunto: precisamente, esauriremo lo stock in modo tale da lasciarne una parte per quando diventerà più conveniente passare ad una fonte alternativa – la fonte sostitutiva appunto. Lo stesso tipo di ragionamento si può applicare ad ogni prezzo iniziale inferiore a P_0 , cui sarà associato un sentiero di prezzi che «tocca» P_B dopo T , e che determinerà tassi di domanda che esauriranno la risorsa *prima* di T e il prezzo non avrà ancora raggiunto P_B al tempo T . Il risultato sarà quello di esaurire la risorsa solo per scoprire che la risorsa sostitutiva o non è disponibile o lo è, ma a patto che il prezzo «faccia un balzo» significativo. P_0 rappresenta, quindi, il prezzo iniziale ottimale perché determina un sentiero di prezzo con il quale la risorsa verrà utilizzata ad un tasso che «con regolarità» consente il passaggio dalla risorsa in questione ad una risorsa sostitutiva.

Tuttavia va detto che l'assunzione di una tecnologia sostitutiva non è essenziale per la determinazione del sentiero di prezzo: finché la curva di domanda interseca l'asse del prezzo in corrispondenza di un qualche prezzo finito (ad esempio, P_K nella figura 18.1), si può ripetere l'analisi secondo la quale il sentiero del prezzo esaurisce esattamente la risorsa e il prezzo nel periodo T è uguale a P_K , in corrispondenza del quale la domanda scende a zero. Negli studi empirici, tuttavia, viene invocata solitamente l'idea di una tecnologia sostitutiva.

4. I prezzi delle risorse non rinnovabili e la teoria sostitutiva

L'analisi precedente ha mostrato che:

$$[18.9] \quad R_t = R_0 e^{st}$$

Questo risultato viene ottenuto semplicemente riaggiustando l'equazione [18.7]. Ne segue che:

$$[18.10] \quad R_0 = \frac{R_T}{(1+s)^T}$$

dove, si ricorderà, T è il periodo di tempo in cui o entra in gioco la tecnologia sostitutiva, o la domanda scende a zero; R_T , invece, rappresenta la *royalty* (rendita, costo d'uso) nel periodo T e l'equazione [18.8] ci dice che essa deve essere uguale al prezzo del periodo T meno il costo. Continuando ad ipotizzare che i costi di estrazione siano costanti, avremo

$$[18.11] \quad R_T = P_{B,T} - C$$

cioè la *royalty* è uguale al prezzo nel periodo T , che è uguale al prezzo della tecnologia sostitutiva, meno il costo. Sostituendo la [18.11] nella [18.10] si ottiene:

$$[18.12] \quad R_0 = \frac{P_{B,T} - C}{(1+s)^T}$$

In altri termini, la *royalty*, o costo marginale d'uso, nel periodo iniziale è uguale al prezzo della tecnologia sostitutiva meno il costo di estrazione della risorsa, il tutto scontato al presente. Abbiamo stabilito in questo modo un legame tra il prezzo della tecnologia sostitutiva e la *royalty* nel periodo iniziale, o, più generalmente, la *royalty* in ogni periodo t sarà uguale a:

$$[18.13] \quad R_t = \frac{P_{B,T} - C}{(1+s)^{T-t}}$$

Il sentiero temporale del prezzo sarà come quello indicato nella figura 18.2, mentre per la quantità sarà come quello rappresentato nella figura 18.3.

5. Gli effetti derivanti dalla variazione dei parametri

Siamo ora in grado di indicare in che modo le variazioni nei diversi parametri influenzino i sentieri ottimali di prezzo e di quantità prodotti

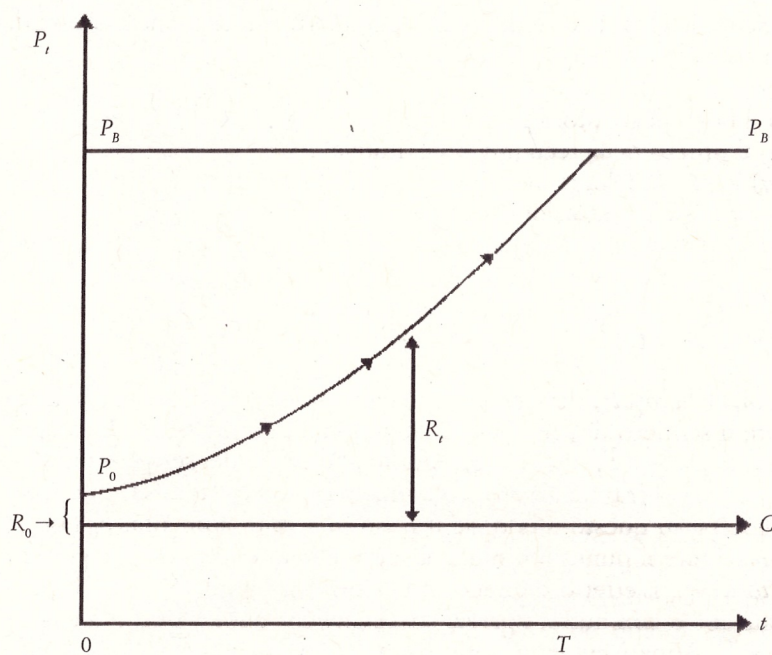


FIG. 18.2. Il sentiero di prezzo della risorsa nel corso del tempo.

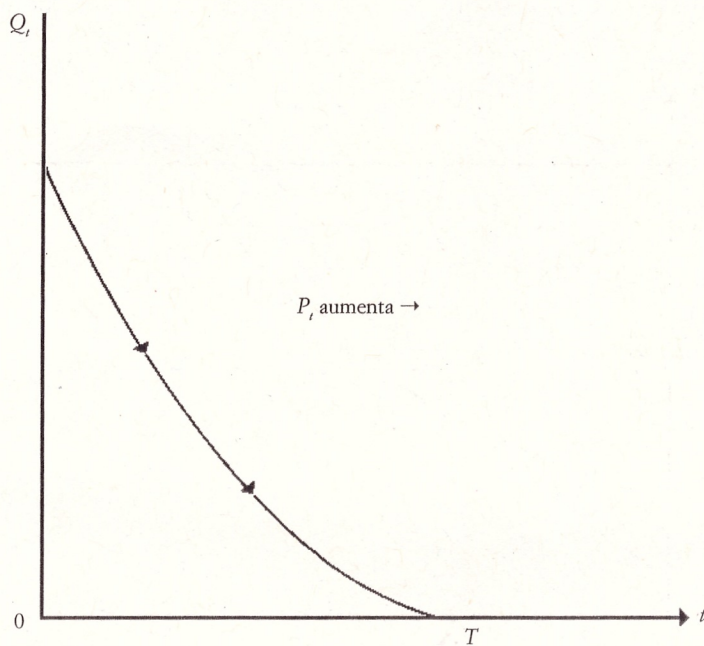


FIG. 18.3. Il sentiero di quantità nel corso del tempo.

dalla semplice regola di Hotelling. I parametri rilevanti che ora prendiamo in considerazione sono:

- i) il tasso di sconto, s ;
- ii) il prezzo della tecnologia sostitutiva, P_B ;
- iii) lo stock della risorsa;
- iv) il costo di estrazione, C ;
- v) la domanda.

La variazione di s

Poiché la *royalty* deve crescere al tasso di sconto, un aumento di s farà mutare il sentiero di prezzo: in termini della figura 18.1, se P_0 rimane il medesimo, allora P_t starà in ogni punto al disopra del sentiero indicato e il limite P_B verrà raggiunto con una parte della risorsa che rimane inutilizzata; in questo modo, se il tasso di sconto aumenta, P_0 non può rappresentare il punto iniziale, nel senso che quel punto deve giacere *al disotto* di P_0 . L'effetto è quello indicato nella figura 18.4 con il prezzo iniziale che è diminuito, i prezzi successivi che aumentano e T che si riduce a T' . Appare evidente, quindi, che *tassi di sconto più elevati tendono a produrre un esaurimento più rapido della risorsa non rinnovabile*, poiché i prezzi più bassi dei primi periodi tendono ad «incoraggiare» la domanda, mentre prezzi più elevati nei periodi successivi tendono a «scoraggiarla»; tassi di sconto elevati, perciò, implicano che il proprietario della risorsa vuole assicurarsi i benefici derivanti dall'estrazione della risorsa ora piuttosto che successivamente. Abbiamo formalizzato ora una delle questioni che stanno a cuore ai sostenitori della conservazione, cioè che uno sconto

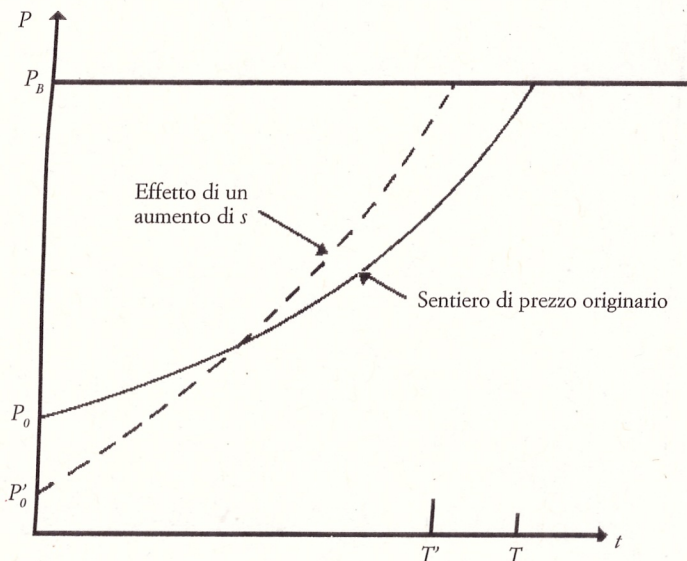


FIG. 18.4. Gli effetti di un aumento del tasso di sconto.

positivo del futuro incentiva uno sfruttamento più rapido delle risorse naturali.

Come si è notato nel capitolo 14, tuttavia, anche questo risultato è incerto: tassi di sconto più elevati tendono generalmente a scoraggiare l'investimento in beni capitali, e, secondo il principio di bilancio dei materiali saranno richieste meno risorse e meno energia, e, dunque, ci sarà una domanda minore di risorse naturali. L'effetto complessivo sullo stock di risorse naturali di tassi di sconti elevati è perciò ambiguo.

La variazione di P_B

Il progresso tecnologico fa sì che le tecnologie sostitutive tendano a divenire più convenienti quando vengono scoperte nuove modalità di sviluppo della risorsa sostitutiva. Ma è certamente possibile che si verifichi la cosa opposta, ossia, che le difficoltà tecniche possano moltiplicarsi anziché diminuire. Nella figura 18.1 si può vedere che, se P_B diminuisce, il sentiero di prezzo della risorsa «toccherà» la nuova curva di prezzo P_B prima di T , con una parte della risorsa che rimane non sfruttata; P_0 , il prezzo iniziale, è in questo modo troppo elevato e dovrebbe, quindi, essere più basso affinché emerga la situazione di ottimalità. Questo, a sua volta, incoraggerà la domanda e porterà ad un sentiero di quantità che esaurirà completamente la risorsa in corrispondenza del nuovo orizzonte temporale; il sentiero di prezzo è ora in ogni punto *al di sotto* del sentiero di prezzo originario (figura 18.5): la risorsa viene esaurita prima, al tempo T' , mentre il sentiero di prezzo che ha origine in P'_0 deve ancora crescere al tasso di sconto, s , che è rimasto invariato.

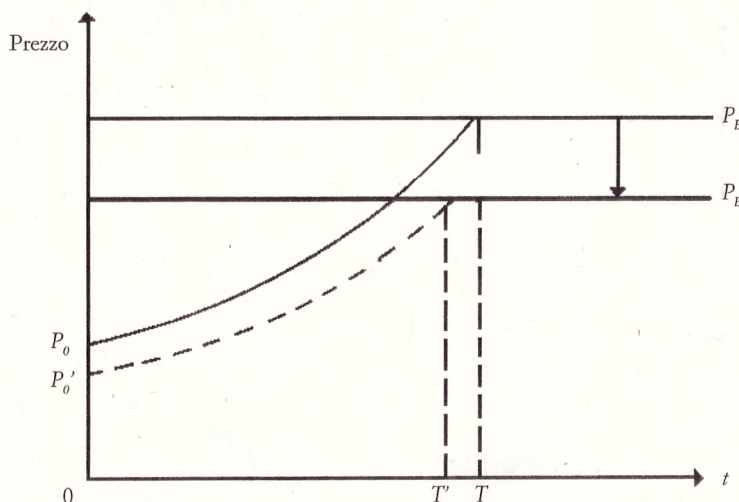


FIG. 18.5. Gli effetti di una diminuzione del prezzo sostitutivo.

La variazione dello stock della risorsa

Può sembrare singolare considerare una variazione nella dimensione dello stock di una risorsa non rinnovabile, ma, nella realtà, le stime delle riserve di risorse non rinnovabili come, ad esempio, il carbone e il petrolio, sono sottoposte a costante revisione. Nuove tecnologie sismiche implicano un miglioramento dei tassi di scoperta dei giacimenti; nuove tecniche di ricerca fanno sì che ciò che una volta si supposevano essere riserve note ma non sfruttabili spesso divengono stock utilizzabili. Un altro elemento in questo processo è il ruolo svolto dai prezzi delle risorse: quando questo prezzo aumenta, quelli che erano stock fino ad allora non utilizzabili a fini economici diventano economici da sfruttare; un esempio eloquente è rappresentato dalla esplorazione e dallo sfruttamento del petrolio grezzo in aree quali il Mare del Nord in seguito agli aumenti del prezzo del greggio sostenuti dall'OPEC tra il 1973 e il 1974. I geologi classificano spesso le riserve come «certe», «probabili» e «possibili». Le *riserve certe* sono quelle la cui esistenza è nota e che possono essere sfruttate ai prezzi e ai costi correnti; le *riserve probabili* sono solitamente collegate a giacimenti noti che hanno riserve certe e rappresentano una ottima scommessa sulle quantità aggiuntive che potrebbero essere estratte in quei giacimenti; le *riserve possibili*, infine, sono riserve presenti in strutture geologiche vicine a giacimenti certi. Tuttavia, la somma delle riserve certe, probabili e possibili è inferiore alle stime più azzardate di ciò che «in ultima istanza può essere scoperto»: questa cifra più grande verrà determinata geologicamente e tenderà a non tenere in alcun conto i costi della scoperta.

Ovviamente, allora, il concetto di «stock» di una risorsa non rinnovabile è piuttosto flessibile. Ma in che modo un aumento negli stock della risorsa influenza il sentiero di prezzo di Hotelling? Finché la curva di domanda stessa non varia, lo stock disponibile durerà più a lungo, come si può vedere nella figura 18.1, in cui il sentiero di prezzo che ha

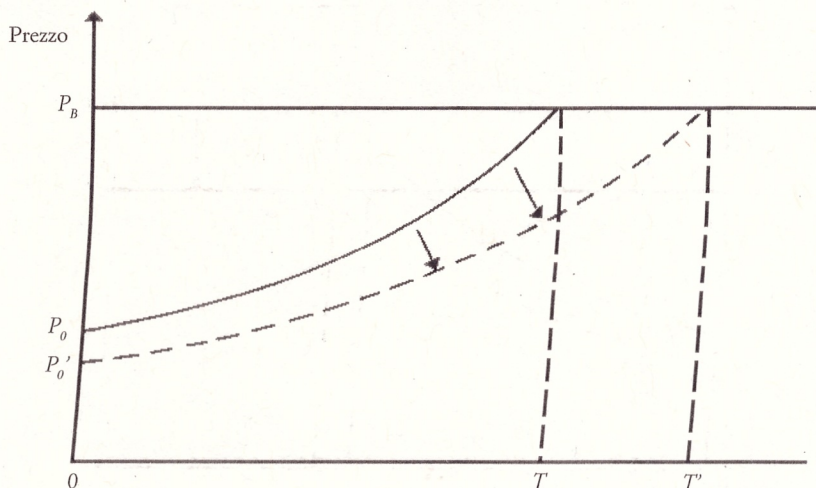


FIG. 18.6. Effetti di un aumento degli stock della risorsa.

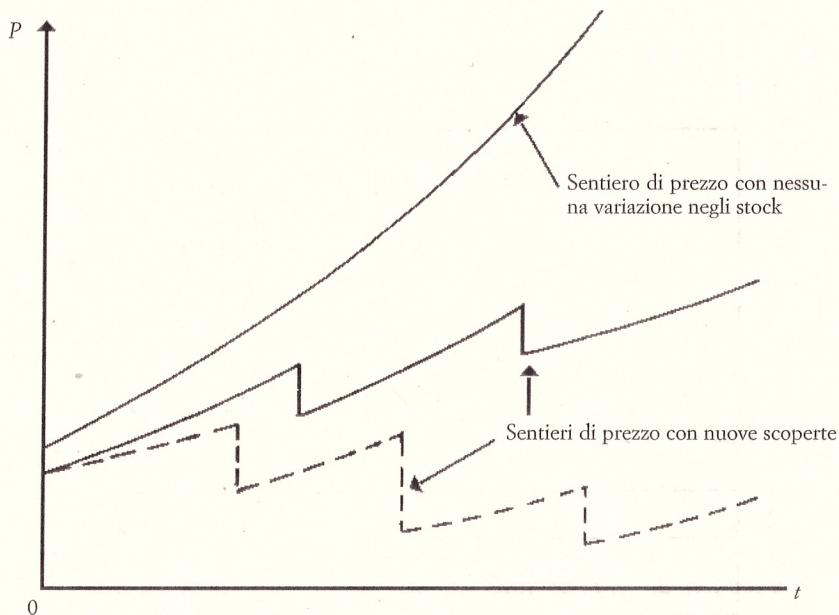


FIG. 18.7. Sentieri di prezzo in presenza di scoperte frequenti della risorsa.

origine in P_0 lascerà delle riserve non sfruttate; quindi, il prezzo sarà più basso di P_0 nel periodo iniziale e il periodo di tempo da qui all'esaurimento della riserva verrà esteso, come è indicato nella figura 18.6.

La stessa figura offre un'utile intuizione sul sentiero dei prezzi *effettivi* della risorsa. Nel capitolo 19 i dati empirici indicano che, fino a poco tempo fa, i prezzi delle risorse hanno mostrato la tendenza a *diminuire* nel tempo, e questo in evidente contrasto con la regola di Hotelling. La figura 18.6 mostra che, se le scoperte della risorsa avvengono frequentemente, ci potremmo aspettare una successione di sentieri connessi come quelli abbozzati nella figura 18.7, dove ogni discontinuità coincide con una scoperta della risorsa: il *trend* complessivo dei prezzi potrebbe, perciò, piegare verso il basso (come indica la curva più bassa nella figura 18.7).

La variazione del costo di estrazione, C

La figura 18.8 mostra cosa accade quando il costo di estrazione si riduce da C a C' : se C diminuisce e P_0 rimane invariato, $P_0 - C$, che rappresenterebbe la *royalty* iniziale, crescerebbe al tasso di sconto, con la conseguenza che P_B viene raggiunto prima che la risorsa venga esaurita. P_0 non può essere il punto iniziale per il nuovo sentiero di prezzo e, quindi, deve ridursi a P_0' facendo in modo che una quota maggiore della risorsa venga estratta nei primi periodi. Il nuovo sentiero di prezzo deve essere, perciò, più inclinato di quello precedente e la risorsa viene esaurita prima, a T' . Il sentiero più inclinato può sembrare strano, perché il tasso di sconto non è variato; ma, a ben considerare, è la *royalty* che aumenta al tasso di sconto e la *royalty* nel periodo iniziale è cresciuta, poiché la diminuzione di P_0 è minore di quella di C .

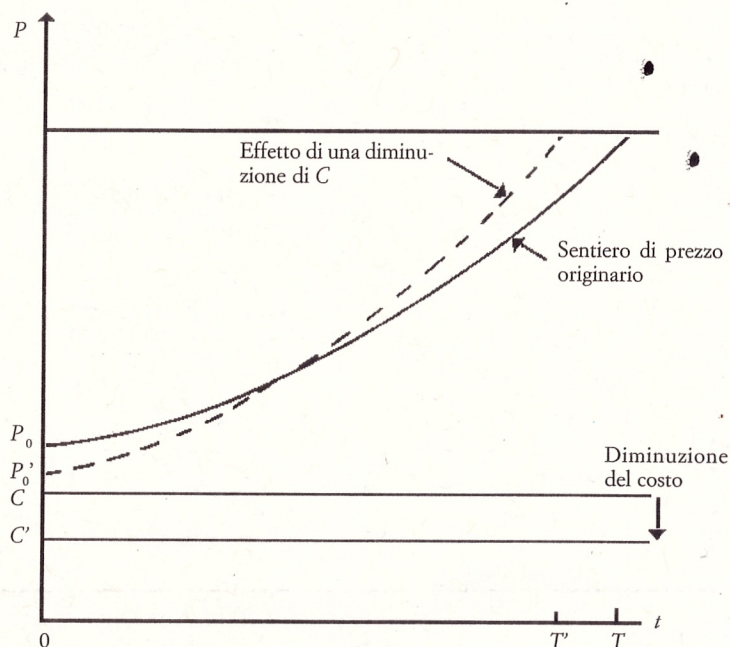


FIG. 18.8. Gli effetti di una diminuzione nei costi di estrazione.

La variazione della domanda

Nell'analisi finora condotta, la curva di domanda è di tipo statico, cioè a dire, la sua posizione è la medesima in ciascun periodo e le variazioni nelle quantità domandate in ogni periodo sono da attribuire a movimenti lungo la curva al variare dei prezzi. D'altro canto, la domanda può aumentare a causa della crescita demografica e all'incremento dei redditi, o può diminuire qualora vengono scoperti dei sostituti della

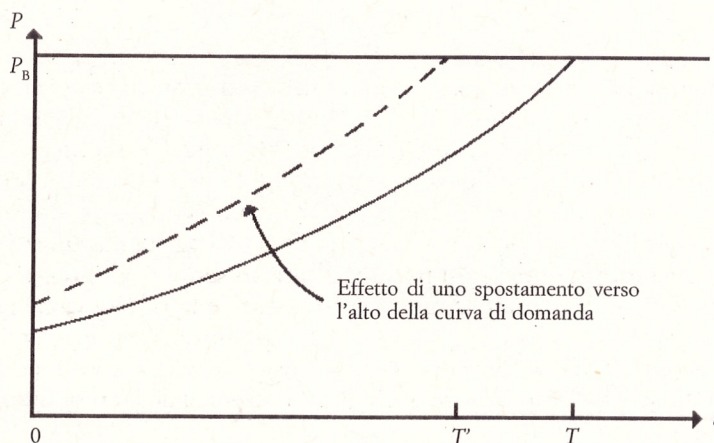


FIG. 18.9. Gli effetti di un aumento nella domanda.

risorsa in questione. Se la domanda cresce, ossia, se la curva di domanda nella figura 18.1 si sposta verso l'alto a sinistra, ci sarà una nuova curva del prezzo che giacerà in ogni punto al di sopra di quella precedente, perché il vecchio sentiero di prezzo in seguito all'aumento della domanda determinerà livelli più elevati di estrazione della risorsa, che esauriranno la stessa risorsa prima che il prezzo abbia raggiunto P_B . Il prezzo deve, dunque, essere più elevato in ogni periodo per razionare la risorsa nel tempo e, anche in questo caso, l'orizzonte temporale verrà ridotto da T a T' nella figura 18.9.

6. Il monopolio e il tasso di sfruttamento delle risorse

Nell'analisi finora condotta si è sempre assunta l'ipotesi di concorrenza perfetta e, come questa viene considerata compatibile con la massimizzazione del benessere sociale (benché le condizioni perché questo sia vero siano forti), così la regola di Hotelling estende l'analisi fino ad includere il tempo e le risorse naturali. Ora, se i mercati delle risorse sono concorrenziali, i possessori della risorsa utilizzeranno la risorsa ad un tasso socialmente ottimale; la sola ragione per intervenire nel mercato delle risorse, quindi, sarebbe: *a)* se i tassi sociali di sconto differiscono dal tasso privato di sconto impiegato dal possessore della risorsa; *b)* se ci sono delle esternalità derivanti dall'uso della risorsa; *c)* se i mercati non sono perfettamente concorrenziali. Sono stati già discussi gli effetti di una variazione del tasso di sconto: se i tassi di sconto sociali sono inferiori al tasso di sconto privato, ci aspetteremmo che il sentiero di prezzo social-

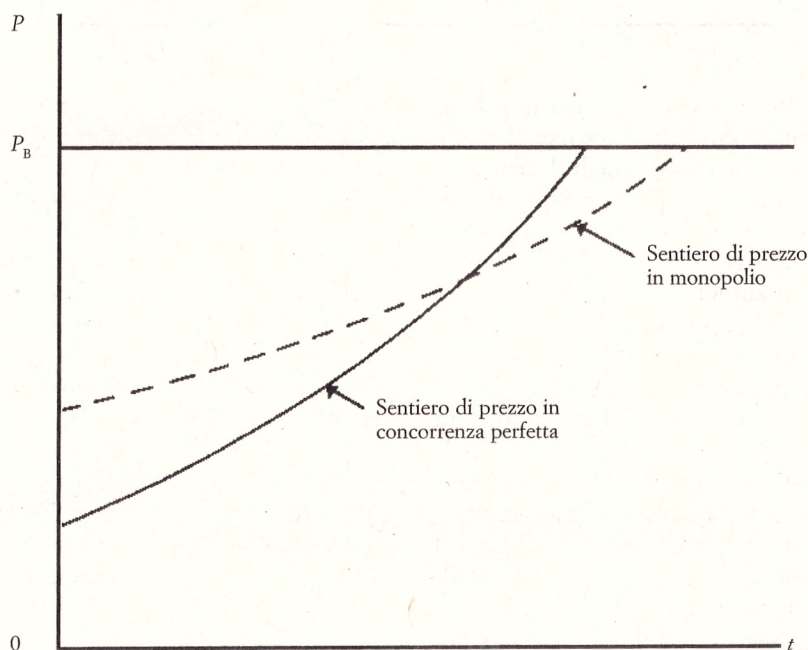


FIG. 18.10. Gli effetti del monopolio sull'estrazione della risorsa.

Risorse rinnovabili $F(X) > 0$	Risorse non rinnovabili $F(X) = 0$
Prezzi «dati» $\frac{1}{s} \frac{dR}{dX} = P - C(X)$ (1)	Estrazione senza costo (4) $s = \frac{\dot{P}}{P}$
I prezzi cambiano, costi nulli $F(X) = s - \frac{\dot{P}}{P}$ o $s = F(X) + \frac{\dot{P}}{P}$ (2)	Costi costanti (5) $s = \frac{\dot{P}}{R}$ o $s = \frac{\dot{R}}{R}$
I prezzi cambiano, costi positivi $F(X) - \frac{C'(X)}{P} F(X) = s - \frac{\dot{P}}{P - C(X)}$ (3)	

Fig. 18.11. Una sintesi delle regole ottimali di utilizzo delle risorse.

mente ottimale sostenga una maggiore conservazione, ossia, un minore sfruttamento della risorsa. Anche la presenza di effetti esterni implicherebbe che i tassi sociali di sfruttamento della risorsa siano inferiori ai tassi privati. Dobbiamo ora discutere gli effetti derivanti dall'abbandono dell'ipotesi di concorrenza perfetta.

Si ritiene in generale che i monopolisti diminuiscano l'output prodotto ed aumentino i prezzi rispetto alla situazione di concorrenza perfetta; questo ci porta a congetturare che P_0 , il prezzo iniziale, sarà più alto in monopolio che in concorrenza perfetta, ma, dato lo stock fisso della risorsa, un prezzo iniziale più elevato implica un sentiero di prezzo meno ripido nel tempo: il risultato è quello mostrato nella figura 18.10, dove l'effetto del monopolio è quello di allungare la «vita» della risorsa, cioè il monopolio risulta essere un alleato dei sostenitori della conservazione.

Questa proposizione generale è in accordo con l'intuizione, ma in realtà dipende dai valori assunti di volta in volta dai parametri rilevanti, quale ad esempio l'elasticità della curva di domanda. In generale, potremmo dire che il monopolio *tende* a spingere alla conservazione della risorsa.

7. Una sintesi delle regole ottimali di uso e di sfruttamento delle risorse

Nella figura 18.11 sono state raccolte le diverse regole ricavate nel capitolo 16 e in questo capitolo, che derivano dall'assunzione che lo scopo sia la massimizzazione del *valore attuale* del profitto per la società. Le regole più importanti sono state evidenziate nei riquadri più piccoli, ed è consigliabile tenere queste regole in mente anche se non è facile comprendere il modo in cui sono state derivate. L'equazione [1] nella figura 18.11 dice che il guadagno $P-C(X)$ derivante da una piccola riduzione dello stock della risorsa rinnovabile deve uguagliare la rendita perduta (in termini di valore attuale) in seguito alla riduzione nella crescita della biomassa che si verificherebbe se lo stock venisse lasciato indisturbato. L'equazione [2] dice che per una risorsa rinnovabile il tasso di sconto deve essere uguale al prodotto marginale fisico *più* il guadagno in conto capitale derivante dal lasciare la risorsa *in situ*. L'equazione [3] modifica questa regola per comprendere il caso di costi positivi di raccolto della risorsa. L'equazione [4] costituisce la forma più semplice della regola di Hotelling per le risorse non rinnovabili, secondo la quale si deve estrarre la risorsa in modo tale che il prezzo (reale) nel tempo aumenti ad un tasso percentuale uguale al tasso di sconto. L'equazione [5] rappresenta una versione più realistica della regola di Hotelling, ma anche in questo caso i costi sono *indipendenti* dalla dimensione dello stock della risorsa ($C(X)=C$). Se i costi vengono a dipendere dalla dimensione dello stock della risorsa, l'analisi diviene di gran lunga più complessa.