

**UN MODELLO INTEGRATO PER L'APPLICAZIONE DEL PROTOCOLLO DI KYOTO
IN UN'OTTICA DI MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ DELLA VITA URBANA**

Antonia CATALDO¹, Antonio M. RINALDI²

1 Di.Pi.S.T-Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio – Università di Napoli Federico II, P.zze
Tecchio, 80, 80125, Napoli NA

2 DIS-Dipartimento di Informatica e Sistemistica - Università di Napoli Federico II, via Claudio, 21, 80125,
Napoli NA

SOMMARIO

In un contesto di Emissions Trading previsto dal Protocollo di Kyoto, il lavoro propone un modello integrato di supporto alle scelte del decisore per l'allocazione delle quote di emissione di CO₂. In un'ottica di miglioramento della qualità della vita nei centri urbani, perseguendo il principio della sostenibilità ambientale e delle economie sostenibili, il metodo generato integra le consuete componenti tecnologiche ed economiche influenzate dalle politiche energetiche con componenti più prettamente territoriali, quali il benessere dei cittadini, l'equità sociale, la salute, la sicurezza e l'uso razionale delle risorse.

Si propone, in sintesi, una scelta di orientamento politico che coniughi esplicitamente obiettivi globali –legati alla riduzione delle emissioni climalteranti e dei consumi energetici- con obiettivi locali finalizzati alla riqualificazione urbana.

Lavoro svolto nel Contratto di Ricerca dal titolo “Definizione di un modello di supporto alle scelte di allocazione delle quote di emissioni di CO₂”, nell'ambito del progetto “*Elaborazione di un modello per l'ottimizzazione del sistema di allocazione iniziale dei permessi di emissione di CO₂ e per la valutazione economica degli scenari evolutivi connessi al regime di scambio (Emissions Trading)*” promosso dal CUEIM – Consorzio Universitario di Economia Industriale e Manageriale e finanziato dal MIUR con Decreto n. 1342 del 29/04/04.

1 INTRODUZIONE

La qualità dell'aria nei centri urbani è strettamente connessa alla qualità della vita, alla salute dei cittadini e alla vivibilità delle città. La ricerca di politiche per la tutela dell'ambiente e, più in generale, per lo sviluppo sostenibile rappresenta una sfida che, traducendosi anche in appeal per gli investitori e in maggiore benessere, porta ad aumentare la ricchezza del territorio. Il predisporre interventi atti alla risoluzione del problema ambientale dipende in larga misura dalla disponibilità di informazioni sulle varie componenti del fenomeno, non solo quelle legate alla produzione, ma anche a dinamiche di carattere sociale ed economico. In ragione di questo scenario, le politiche ambientali internazionali suggeriscono modelli di vita accettabili ispirati al principio della sostenibilità ambientale e delle economie sostenibili. L'introduzione del concetto di sostenibilità conduce alla definizione di uno scenario articolato, in cui è necessaria l'integrazione fra diversi settori di competenza e diversi livelli di governo, l'ampliamento della gamma degli strumenti e la condivisione delle responsabilità.

Il Protocollo di Kyoto si muove in questa direzione, proponendo, tra l'altro, un mercato dei permessi di emissione. Un'analisi dei modelli proposti per la fattibilità delle prescrizioni previste dal Documento consente un confronto tra costi e benefici cui le politiche di contenimento dei gas serra approdano. In questi modelli le componenti tecnologiche ed economiche influenzate dalle politiche energetiche sono estremamente dettagliate. Tuttavia, in nessuno è valutato l'impatto che dette politiche hanno su altri settori, ovvero sull'articolato campo della qualità della vita.

In questo lavoro si propone un modello integrato di supporto alle scelte del decisore per l'allocazione delle quote di emissione di CO₂ in un contesto di Emissions trading. Il modello parte dal presupposto che l'azione pubblica svolge un ruolo centrale nell'assicurare uno sviluppo sostenibile, in cooperazione con tutte le alte sfere di governo. Questo ruolo esige un approccio integrato all'elaborazione delle strategie locali e all'armonizzazione degli obiettivi sociali, culturali ed economici. La metodologia di progetto utilizzata è di tipo misto: da una logica bottom-up, che mira ad attribuire una prima allocazione di quote attraverso la misurazione della performance dei settori produttivi, quindi da una generalizzazione delle prestazioni degli impianti di uno stesso settore produttivo, si è passati ad una logica top-down, con l'intento di determinare un'allocazione più puntuale per singolo impianto. Il calcolo dei livelli di performance è correlato alle assegnazioni delle quote. Il valore determinato diviene fondamentale per i soggetti, pubblici e privati, che si trovano in condizione di prendere decisioni in merito alle alternative progettuali da implementare per il singolo impianto e/o per il settore produttivo di riferimento. L'innovazione del modello proposto sta nell'accezione data al concetto di performance. Essa non è determinata dal solo profitto aziendale, ma è combinazione di una serie di parametri attribuibili a diverse categorie prestazionali: Macro

Attributo Ecologico, Economico, Tecnico-Prestazionale e Sociale. Dove: il primo mira ad indagare le condizioni ecologiche cui versa il sistema; il secondo considera lo sviluppo economico come base del benessere collettivo; il terzo vuole descrivere il processo produttivo in termini di efficienza prestazionale; il quarto descrive le uguaglianze e le disparità della popolazione attuale, occupandosi di problemi quali l'uso delle risorse, del sovraconsumo e la povertà, la salute o la sicurezza. Il considerare questi 4 aspetti permette di riflettere sui costi e sui benefici che le attività antropiche hanno per i sistemi umano ed ecologico, dal punto di vista monetario e non, ritenendo che, pur conservando la priorità degli aspetti ambientali, le problematiche trattate hanno forti ricadute e/o sono altamente condizionate da aspetti sociali, istituzionali e di relazione.

2 IL SUPPORTO ALLE DECISIONI

La scelta ottima di una specifica decisione all'interno di una situazione complessa implica una notevole conoscenza del contesto a cui si riferisce. Da qui, nello studio di casi reali, è evidente che una delle principali lacune per una corretta definizione degli obiettivi e dei modi per perseguirli è costituita da un insufficiente sistema di conoscenza. Per raggiungere un livello accettabile di conoscenza è indispensabile dover considerare una mole enorme di informazioni. Questa notevole quantità dipende, da un lato, dall'esigenza di una maggiore conoscenza dei fenomeni, dall'altro, da un uso sempre più intenso di strumenti e modelli analitici che consentono la raccolta e il trattamento di dati e di informazioni in precedenza non rilevabili. Se il numero delle informazioni aumenta, diventa indispensabile l'utilizzo di nuove tecniche e di tecnologie innovative capaci di archiviare, collegare e gestire i dati raccolti. La valutazione dei dati aggregati consente di trasformare le analisi in informazioni, di individuare le cause dei fenomeni e di stabilire le relazioni che permettono di raggiungere la massa critica informativa necessaria al supporto delle decisioni. Gli studiosi dei processi decisionali attingono da discipline scientifiche e umanistiche che vanno dalla ricerca operativa alla sociologia e alla psicologia. Questi differenti "modi di vedere" pongono il decisore (o i decisori) nella necessità di guardare i problemi secondo prospettive differenti e di scegliere soluzioni in funzione di criteri e priorità spesso in contrasto tra loro.

Già da queste brevi considerazioni emerge in tutta la sua criticità il problema della scelta della decisione e di quali siano i processi che devono guidare il decisore. Possiamo individuare quattro tematiche critiche sulle quali si confrontano, e spesso si scontrano, gli esperti del settore. Una prima analisi può essere condotta sulle logiche che impongono che le decisioni debbano essere prese seguendo processi di scelta o processi basati su regole; chi è preposto a prendere decisioni sceglie in funzione delle conseguenze, valutando gli effetti in base alle proprie preferenze; d'altra parte è possibile perseguire una linea basata sull'appropriatezza, individuando identità e ruoli in funzione di situazioni e regole che permettono l'allineamento

tra comportamenti e situazioni. E' possibile studiare le rappresentazioni dei processi decisionali in un'ottica di chiarezza e coerenza o di ambiguità ed incoerenza. In questo contesto la scelta può rappresentare un momento in cui individui ed organizzazioni perseguono la coerenza diminuendo i margini di equivoco o in cui incoerenze ed ambiguità vengono esibite, sfruttate ed ampliate. Possiamo intendere la decisione come un'attività strumentale o interpretativa. La decisione può essere interpretata e compresa come parte di un sistema di calcoli per la risoluzione di problemi o come risultato dello sforzo di costruire significati individuali e collettivi. Infine, il risultato delle decisioni può essere visto come la sintesi di attività di singoli attori autonomi o come il frutto di azioni sistemiche supportate da una rete di interazioni.

La rappresentazione più comune del processo decisionale considera l'azione come scelta razionale. Relativamente ai processi di scelta, la razionalità può essere definita come una particolare classe di procedure per compiere delle scelte che non è scontato portino ad esiti positivi anzi, la relazione tra razionalità di un processo (razionalità procedurale) e la bontà dei suoi risultati (razionalità sostanziale) è un risultato da dimostrare.

Nelle teorie delle scelte razionali il punto di partenza è che i processi decisionali siano consequenziali e basati su un insieme di preferenze; la prima affermazione deriva dalla dipendenza dalle aspettative rispetto agli effetti di un'azione, mentre la seconda è funzione delle preferenze individuali. Possiamo dire che una procedura è razionale se segue una logica della conseguenza in funzione della quale una scelta è dettata da quattro questioni fondamentali:

1. **Alternative:** quali azioni sono possibili?
2. **Aspettative:** quali conseguenze possono derivare da ciascuna alternativa?
3. **Preferenze:** che valore hanno per il decisore le conseguenze di ogni alternativa?
4. **Regole decisionali:** come viene scelta un'alternativa tenuto conto delle conseguenze che essa produce?

Questo quadro generale rappresenta la base per la spiegazione del comportamento. La scelta inoltre è funzione delle alternative considerate e di due tipi di visione del futuro:

- i futuri stati (del mondo) rispetto alla scelta fatta;
- la percezione del decisore di questi futuri stati.

Esistono differenti versioni della teoria delle scelte razionali; in alcune si parte dal presupposto che tutti i decisori condividano delle preferenze di base, che le alternative e le conseguenze derivanti da esse siano definite dall'ambiente e che ci sia piena conoscenza delle alternative e delle conseguenze. Altre versioni introducono una maggiore soggettività degli attori assumendo comunque una conoscenza puntuale per ogni decisione.

Queste versioni "pure" della scelta razionale sono utili per fornire previsioni complessive di tipo qualitativo, ma sono di difficile accettazione nella caratterizzazione di attori individuali ed organizzativi, dato che impongono un livello troppo dettagliato di conoscenza dei

fenomeni. Per questi motivi sono stati suggeriti molteplici approcci nella definizione della teoria delle scelte razionali introducendo, ad esempio, misure sull'incertezza delle conseguenze. In quest'ottica i decisori scelgono in un insieme di alternative possibili sulla base delle conseguenze attese, ma tali conseguenze non sono note con certezza presentando quindi un certo grado di probabilità. Tali incertezze derivano dall'intrinseca natura dei processi decisionali e da sistemi di conoscenza incompleti. Le situazioni di incertezza più comunemente considerate sono quelle in cui il decisore agisce in condizioni di rischio, in cui cioè la conoscenza delle conseguenze non è completa, ma se ne conoscono le probabilità di accadimento. In questo contesto la linea strategica più comunemente usata è quella in cui il decisore considera l'alternativa che massimizza il valore atteso. In alcune versioni della teoria delle scelte razionali in condizioni di rischio l'alternativa non viene scelta solo in funzione della massimizzazione del valore atteso, ma considerando anche il suo fattore di incertezza. Questo porta ad una soggettività maggiore in quanto per i decisori avversi al rischio questo fattore diminuisce il valore di una determinata alternativa, per altri ne rappresenta un valore aggiunto. Il grado di rischio viene definito in diverse maniere, in generale esso può essere visto come una misura della variazione negli esiti potenziali. L'introduzione di fattori di rischio muta profondamente il processo decisionale e rappresenta solo il primo passo verso un cambiamento delle ipotesi cognitive della scelta razionale. Questi cambiamenti si svolgono essenzialmente lungo quattro assi:

1. Conoscenza: ipotesi sul livello di conoscenza del decisore rispetto al mondo e agli altri attori;
2. Attori: ipotesi sul numero dei decisori;
3. Preferenze: ipotesi sulle preferenze secondo le quali le alternative vengono scelte;
4. Regola decisionale: ipotesi sulle regole di selezione delle alternative.

Queste considerazioni portano ad una scelta razionale limitata che si avvicina ai processi decisionali reali. Infatti, nei casi reali, non tutte le alternative sono note, non tutte le conseguenze vengono considerate e non tutte le preferenze vengono utilizzate contemporaneamente: non considerando (o non avendo a disposizione) un sistema completo di conoscenza, i decisori tendono a perseguire invece della miglior azione possibile quella più praticabile. Tali vincoli portano ad una necessità di semplificazione che può essere ricondotta a quattro atteggiamenti fondamentali:

1. **Elaborazione:** si tende ad elaborare e semplificare i problemi prima di affrontare una scelta, considerando un insieme limitato di parametri;
2. **Scomposizione:** si cerca di scomporre i problemi nelle loro componenti;
3. **Euristico:** nelle situazioni affrontate si cerca di individuare elementi ricorrenti e, dopo averli analizzati, vi si applicano regole appropriate;
4. **Inquadramento:** nel processo decisionale le scelte vengono inquadrare seguendo le opinioni del decisore.

Questi atteggiamenti vengono sintetizzati nell'utilizzo di indicatori che permettono una diminuzione del grado di complessità del problema affrontato. Tali indicatori si possono riferire alla realtà esterna nella quale operano i decisori; possono modellare i processi che producono un determinato output di interesse per il decisore; possono rappresentare gli esiti di decisioni e di attività. La valutazione rappresenta un procedimento scientifico, uno strumento critico, nonché un valido supporto ai processi decisionali, atto a garantire il superamento di eventuali conflitti che si possono venire a determinare a causa del perseguimento di obiettivi diversi e a volte contrastanti. Il processo valutativo, infatti, consente la messa a punto di una "graduatoria delle priorità" tra le opzioni alternative; ovvero permette di ritrovare, di volta in volta, quella che può essere ritenuta la soluzione ottimale e la più idonea perché meglio riesce ad associare obiettivi differenti, siano essi economici, culturali, ecologici o sociali. La valutazione, inoltre, permette di attivare un "processo di feed-back", ossia, interagendo sia con la fase puramente tattica che con quella progettuale, deve adattarsi ad un monitoraggio continuo per controllare lo stato di concretizzazione degli obiettivi, delle priorità e delle diverse modalità di intervento perseguiti e eventualmente di ricalibrare il sistema per il raggiungimento degli stessi. L'importanza di una "corretta" valutazione emerge proprio quando si va a stimare il livello globale di qualità della vita nell'area, quindi si determinano indicatori che perseguono valori di efficienza e di equità. Una cattiva valutazione, infatti, determinerebbe un accentuarsi di quelle differenze già esistenti sul territorio, sottolineando quei ruoli di centralità o marginalità che attualmente delle zone investono. Nella pianificazione dell'ambiente naturale e costruito, l'ambiente decisionale assume connotati particolarmente complessi. Ciò è dovuto, in particolar modo, ad una concomitanza di fattori che spesso rendono difficile ogni tipo di decisione che, già per natura, è affetta da incertezza. In primis, va considerato il numero di soggetti che, da una parte, possono trovarsi in condizioni di dover prendere una decisione e, dall'altra, subiscono dette decisioni; tra questi vanno menzionati, pertanto, i soggetti pubblici, semipubblici, privati, *stakeholders*, e così via. Ognuno di questi soggetti è caratterizzato da specifici obiettivi/interessi/valori per cui assegna una priorità differente a seconda delle proprie esigenze. A ciò va aggiunta la considerazione che detti obiettivi e valori –ovvero dette priorità- sono estremamente variabili e fortemente dipendenti dal fattore tempo, nonché dagli interessi in gioco. In secondo luogo gli impatti che dette decisioni possono generare sul sistema fisico-naturale e su quello socio-economico sono non del tutto prevedibili e, soprattutto, non sempre quantificabili numericamente. Va, infine, considerato che il quadro informativo a disposizione è spesso insufficiente rispetto alle reali esigenze, proprio perché il sistema da considerare è altamente complesso. A tutto ciò va aggiunto che sono tanti i fenomeni non riconducibili ai soli termini monetari per poter limitare l'analisi valutativa alla sola sfera economica. Occorre pertanto adottare una valutazione complessa, ovvero complessiva dell'intero capitale, sociale e naturale. L'impossibilità di poter configurare la "soluzione ottima" che riesca ad armonizzare la molteplicità di interessi,

valori, minacce ed opportunità presenti, implica necessariamente il ricorso alla configurazione di scenari futuri della realtà in esame su cui attivare il processo decisionale. Il campo di interesse viene, pertanto, spostato dal sistema delle soluzioni (affetto da continue evoluzioni e modificazioni) al sistema delle scelte. La costruzione e la valutazione di queste ultime rappresentano il motore del processo decisionale. All'interno del processo di scelta, la valutazione fornisce un valido strumento di supporto per la strutturazione dei problemi analizzati, ovvero costituisce uno strumento cognitivo necessario alla formulazione ed articolazione delle decisioni. Tutti gli aspetti importanti del processo decisionale (criteri, alternative, rappresentazioni e valutazioni) vengono mantenuti in un flusso costruttivo di adattamento reciproco e di co-determinazione interdipendente. Il processo decisionale diventa così ricerca di consistenza tra i vari aspetti in uno sforzo continuo di definizione e formulazione del problema. Ogni soluzione è soluzione di un problema ben strutturato: è un problema in equilibrio cognitivo (Patassini, 1996). In questa accezione, la valutazione si configura come strumento implicito al processo decisionale che, a sua volta, risulta fortemente indirizzato alla produzione di conoscenza orientata all'agire e a supportare il decision maker nelle sue anticipazioni degli scenari futuri, ovvero nel trasformare gli obiettivi in scelte operative (azioni) attraverso ristrutturazioni successive degli spazi di azione. Allora, la valutazione non va intesa solo come "scelta tra alternative possibili", ma costituisce essa stessa un processo di costruzione di alternative di azione. Intesa come strumento di supporto alle decisioni, la valutazione va orientata alla produzione di differenti interpretazioni delle informazioni, solo in tal modo è possibile far crescere le potenzialità di esplorazione dello spazio delle azioni.

Nell'ottica di costruire scenari evolutivi, il processo valutativo assume il compito fondamentale di derivare informazioni, ovvero di produrre una dettagliata descrizione di scenari futuri. Essa, infatti, al di là delle sue funzioni di strumento di supporto alla scelta delle decisioni, contribuisce alla costruzione stessa delle alternative plausibili, ovvero che rappresentano una reale opportunità di azione in un contesto reale e ben determinato. Questo approccio alla valutazione consente di strutturare un'esplorazione dello spazio delle decisioni, che ben si presta nell'ambito del presente studio. A supporto delle decisioni vengono adottati una serie di metodi di valutazione, intesi come strumenti atti a gestire l'intero processo decisionale in modo flessibile e a consentire la partecipazione di tutti i soggetti interessati.

Si definisce metodo di valutazione un procedimento che è in grado di dedurre in modo argomentato una graduatoria di priorità tra alternative (Fusco Girard L., 1997).

Per la ricerca di tali alternative, e soprattutto nella scelta della più idonea come processo risolutivo alle problematiche trattate, i metodi di valutazione che meglio si prestano sono quelli di tipo multicriterio. Essi, infatti, non solo considerano un set di variabili eterogenee, ma passano in rassegna anche le istanze dei diversi soggetti coinvolti nel processo di trasformazione, ovvero prendono in considerazione i criteri assegnati ad ogni alternativa con

le rispettive priorità. I metodi di valutazione multicriterio permettono, in sintesi, di gestire situazioni complesse, dove interessi e valori, espressi su scale quali-quantitative, si intrecciano. L'utilità di questi "strumenti" valutativi di supporto alle decisioni sta nella metodologia procedurale proposta, ovvero nel rigore razionale del processo decisionale. La struttura ed il modello che stanno alla base dell'articolazione degli obiettivi assumono un ruolo determinante soprattutto perché si riferiscono a processi decisionali che spesso presentano (come nel caso in esame) molti criteri generalmente conflittuali. Tutti i problemi multicriteriali, a prescindere dalla loro diversa natura, possono essere ricondotti ad una serie di caratteristiche comuni (Fusco Girard L., 1997), ovvero:

- Identificazione delle problematiche che sono alla base della scelta;
- Definizione di appropriati criteri di valutazione, derivanti da obiettivi diversi e conflittuali;
- Stima delle prestazioni di ciascuna opzione di scelta rispetto ai criteri individuati (l'espressione di tali stime può essere fatta in termini quali-quantitativi, considerando l'incertezza e l'impossibilità di quantificare secondo parametri cardinali tutte le grandezze in gioco);
- Individuazione dei livelli di decisione, degli stakeholders e di chiunque prende parte al processo decisionale;
- Analisi delle preferibilità espresse da ciascun soggetto coinvolto nel processo decisionale rispetto a ciascun criterio di giudizio (tali analisi vengono effettuate considerando i decisori pubblici e privati e assegnando dei pesi a ciascun criterio);
- Specificazione di un'appropriata scala di misura per esprimere le informazioni disponibili (es. razionale, ordinale, nominale o fuzzy).

Secondo Korhonen, Moskowitz e Wallenius (1993) è possibile suddividere i metodi di valutazione multicriterio secondo due gruppi fondamentali:

1. metodi con molte alternative e pochi criteri (es. Vidma)
2. metodi che fanno riferimento ad un grande numero di criteri, ma ad un ridotto numero di alternative (es. AHP).

In generale, tutti consentono di identificare una graduatoria di preferibilità tra le diverse alternative prospettate.

La logica secondo cui ordinare tali alternative dipende dalle condizioni in cui ci si trova ed è fortemente influenzata dal contesto territoriale, nonché dal bagaglio conoscitivo che si ha a disposizione. Janssen (1992) propone tre regole fondamentali:

1. massimizzare il rapporto costi/benefici;
2. minimizzare la distanza dal cosiddetto "punto ideale";
3. massimizzare l'utilità totale.

Per una descrizione più ampia delle varie tecniche e dei modelli esistenti si rimanda a testi più specifici sull'Analisi Multicriterio (Vinkle P., 1992)

2.1 Modelli per la valutazione delle politiche di riduzione delle emissioni di gas serra

A partire dalle prescrizioni previste nel Protocollo di Kyoto si è assistito, nel corso degli anni, al proliferare di studi differenti, ma il cui scopo comune è stato quello di individuare le migliori politiche di controllo dei fenomeni di cambiamento climatico globale. I modelli utilizzati sono stati, pertanto, vari e tutti estremamente particolareggiati, al punto da consentire un confronto diretto tra le molteplici politiche individuate sulla base di una valutazione, a vari livelli di dettaglio, dei costi e dei benefici conseguenti l'attuazione dei modelli stessi.

L'Istituto E3-Lab e l'Istitute for Prospective Technological Studies (IPTS) hanno stimato, in campo europeo, i costi e le conseguenti implicazioni economiche relativi al commercio delle quote di emissione di gas serra. I Modelli utilizzati sui sistemi energetici sono stati rispettivamente PRIMES (UE, 2005) e POLES (Criqui P., 1999). Per quanto i due modelli differiscano su alcune importanti caratteristiche, entrambi giungono alle medesime conclusioni per quanto concerne il possibile risparmio sui costi. Tutti e due i modelli, inoltre, si limitano all'analisi delle emissioni di CO₂ nel settore energetico ed esulano dallo studio degli impatti di tutti i sei gas citati nel Protocollo di Kyoto, oltre che dall'analisi degli assorbimenti di carbonio ("carbon sink"). È anche vero, però, che dette omissioni non pregiudicano l'importanza dei principali risultati ottenuti attraverso i citati modelli.

I modelli più sofisticati permettono di considerare, indirettamente, anche gli impatti delle politiche sia sull'ambiente che sulla popolazione (*NEMS* (US/DOE, 2000), *MarKal* (Seebgreets A.J., 2001), *MarKal-Macro* (Hamilton, 1992), *MarKal-Micro* (Regemorter D., 1998) *TOCANES* (De Leo G.A., 2001)).

I modelli di valutazione economica di politiche energetiche possono essere classificati in molteplici modi, a seconda delle caratteristiche che si vogliono evidenziare. Una prima classificazione può essere fatta individuando due categorie fondamentali: modelli integrati (IAM) orientati agli aspetti economici e modelli limitati alle emissioni. I modelli IAM valutano in modo integrato tutti gli aspetti legati al cambiamento climatico, dalle emissioni e dagli aspetti demografici ed economici, fino alla valutazione del danno, molto spesso anche quello non di mercato per i beni intangibili, ovvero le esternalità. Questi modelli si suddividono a loro volta in due macro-categorie: quelli basati sulle Scienze Naturali (Natural science-oriented) e quelli basati sulle Scienze Economiche (Economic-science oriented) (Tol 1996). I primi, caratterizzati da un elevato dettaglio nella rappresentazione dei cicli climatici, solitamente non permettono di valutare le politiche di controllo dei gas serra (*OPEN FRAMEWORK* (Downing T.E., 1996)). I secondi, molto più semplificati nella descrizione dei fenomeni di circolazione atmosferica, sono in grado di trattare tutti gli aspetti messi in luce finora. I Modelli basati sulle Scienze Economiche, considerano esplicitamente sia i costi delle politiche (ovvero, i costi sostenuti al fine di rallentare il cambiamento climatico), sia i benefici

derivanti da un cambiamento climatico ritardato nel tempo (*RICE* (Nordhaus W.D., 2000), *FUND* (Tol R.S.J., 1996)). Questa categoria di modelli si basa sul principio che le politiche debbano mirare al rallentamento del cambiamento climatico, più che alla mera riduzione delle emissioni. Modellizzare il sistema fino alla componente delle emissioni non fornisce, infatti, informazioni realmente significative: le emissioni rappresentano solo un passaggio intermedio obbligato per quantificare i valori delle vere grandezze d'interesse, ovvero gli effetti e gli impatti del cambiamento climatico. In quest'ottica i modelli di tipo IAM sono nati proprio per trattare le tematiche di cambiamento climatico globale.

Gli altri modelli di valutazione delle politiche, invece, hanno origine nella pianificazione energetica o nella valutazione delle politiche fiscali. Successivamente, si sono evoluti fino a trattare le problematiche di cambiamento climatico; ovviamente, proprio per la loro configurazione originaria, la modellizzazione termina con le emissioni di sostanze climalteranti.

Secondo un approccio classico in letteratura (Sanstad, 1998), i modelli di valutazione delle politiche possono essere classificati secondo due principali categorie: modelli di carattere prettamente economico e modelli di carattere tecnologico-ingegneristico. I primi si caratterizzano per la completa valutazione monetaria degli effetti delle politiche energetiche attraverso una descrizione piuttosto dettagliata del mercato nelle sue diverse componenti (quali gli aspetti occupazionali, l'indotto economico e, nei modelli più sofisticati, la capacità di spesa delle famiglie e gli effetti diretti ed indiretti su altri comparti del mercato diversi dal settore energetico). Il risultato finale degli effetti sia diretti che indotti produce, sinteticamente, variazioni percentuali sul Prodotto Interno Lordo.

I modelli tecnologici, invece, adottando un approccio di tipo bottom-up (rappresenta gli impianti di produzione effettivamente presenti in un dato Paese, la loro localizzazione, la tecnologia implementata etc.), restituiscono una rappresentazione dettagliata del sistema energetico e dei cicli di produzione e di consumo dell'energia.

Esistono, poi, altri modelli che non ricadono chiaramente né nell'una né nell'altra categoria e che è possibile definire intermedi. Essi conciliano una dettagliata descrizione del sistema energetico con la rappresentazione dell'intero sistema economico, basata su semplici matrici di tipo input-output, oppure considerano sia aspetti tecnologici che aspetti economici, ma ad un livello sintetico di macro-categorie o macro-settori, senza dettagli sulle dinamiche del mercato nel suo complesso, né la descrizione puntuale del sistema energetico.

Un altro criterio per classificare i modelli è quello basato sulla rappresentatività dell'ambito spaziale di riferimento. In quest'ottica, è possibile diversificare quelli a Scala Locale (Regione o Comune), a Scala Nazionale o, infine, a Scala Mondiale.

Un ulteriore criterio di classificazione riguarda la finalità e la tipologia dei problemi che si vanno ad affrontare. Indipendentemente dalla loro natura economica, tecnologica o intermedia, alcuni modelli possono essere usati per simulare le dinamiche di mercato

energetico e/o economico sotto diverse ipotesi (e possono quindi essere classificati come modelli di simulazione), oppure identificare strategie ottimali in base ad obiettivi specifici (come minimizzare i costi industriali dell'energia o i costi socio-ambientali e la riduzione del PIL) e a criteri preventivamente definiti quale, ad esempio, quello della sicurezza degli approvvigionamenti (e verranno quindi classificati come modelli di ottimizzazione).

Altri criteri di classificazione, infine, fanno rispettivamente riferimento a:

- tipo di approccio al mercato. Esso può essere: settoriale, quando viene analizzato un solo settore energetico, come quello elettrico, valutandone naturalmente gli aspetti economici; misto, quando viene analizzato il comparto energetico nelle sue componenti settoriali (energia elettrica, energia termica, energia per trasporti); sistemico, quando vengono considerate tutte le componenti del mercato, comprese quelle non energetiche;
- scala geografica di applicazione, che può essere tipicamente mondiale o nazionale;
- maniera in cui si trattano gli aspetti ambientali e sanitari (come vincolo, come esternalità, o in nessuno dei due modi);
- eventuale considerazione di variazioni di domanda e prezzo dei beni energetici;
- determinazione della domanda energetica nazionale, che può essere fissata in modo esogeno al mercato simulato, o endogeno (e dipendere quindi dal costo medio dell'energia);
- eventuale inclusione degli effetti positivi dell'innovazione tecnologica sui cicli di produzione e consumo dell'energia.

3 IL MODELLO PROPOSTO

Il modello propone una prima allocazione di quote di emissione attraverso la misurazione della performance dei settori produttivi, per poi determinare un'allocazione più puntuale, ovvero per singolo impianto.

In sintesi, il modello può essere articolato in 4 fasi strettamente correlate così schematizzabili. Fase 1: identificazione e caratterizzazione del sistema da rappresentare. Mira, in primo luogo, ad individuare un campione significativo di impianti, scelti per ogni settore produttivo, e, in secondo luogo, a caratterizzare ogni settore in base ad una funzione prestazionale calcolata, a sua volta, in rapporto alla performance definita preventivamente per ogni singolo impianto.

Fase 2: assegnazione delle quote per settore produttivo. Sulla scorta dei livelli di performance determinati nella fase precedente, si assegnano le quote di emissione proporzionalmente ai livelli di esigenza determinati per ogni settore produttivo.

Fase 3: assegnazione delle quote per impianto. Le quote assegnate ai settori produttivi vengono ripartite per ogni singolo impianto proporzionalmente al loro livello di performance, ovvero rispetto alle particolari esigenze riscontrate.

Fase 4: definizione della matrice delle decisioni e della rispettiva funzione obiettivo per impianto. Questa fase del modello è riferita alle alternative prospettate a chi ha la titolarità di prendere decisioni in merito alle performance rilevate per il proprio impianto. In sintesi, viene prospettato al decisore privato un ventaglio di alternative attuabili, nonché la possibilità di minimizzare i costi di investimento al fine di migliorare le condizioni di emissione riscontrabili al tempo 0, ovvero al momento del rilievo della performance.

Si riporta, di seguito, uno schema generale sulle fasi del modello improntato, rimandando ai paragrafi successivi per un'articolazione più puntuale delle fasi.

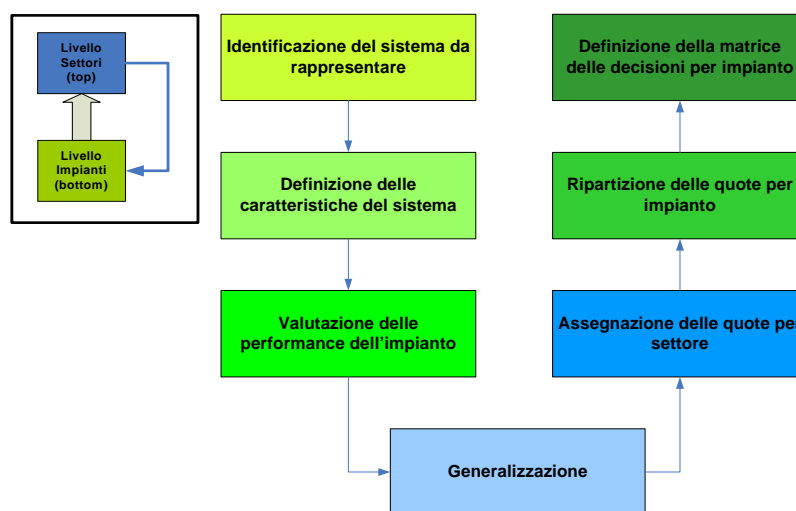


Figura 1 Schematizzazione delle fasi del Modello

3.1 La definizione e le caratteristiche del sistema da rappresentare: determinazione dei livelli di performance

Il calcolo dei livelli di performance è strettamente correlato alle assegnazioni delle quote di emissione. Il valore determinato diviene dunque fondamentale per i soggetti, pubblici e privati, che si trovano in condizione di prendere decisioni in merito alle alternative progettuali da implementare per il singolo impianto e/o per il settore produttivo di riferimento.

Va innanzitutto sottolineato che nel lavoro la performance è stata intesa con accezione complessa, ovvero non è determinata dal solo profitto dell'azienda, ma è combinazione di una serie di parametri attribuibili a diverse categorie prestazionali, quali i valori ecologici (quanta CO₂ è emessa, ad esempio), quelli economici (quanto produce l'impianto, ad esempio), tecnici (quanto, ad esempio, l'azienda è innovativa rispetto alle problematiche affrontate) o, infine, sociali (che rappresentano il "peso" che ha l'impianto nel contesto territoriale in cui è localizzato; ovvero è funzione di nr di addetti, "storicità" dell'impianto, fattore di gradimento delle popolazioni locali, livello di occupazione offerto alle collettività locali, ecc).

La scelta di adottare questa “visione allargata” nella definizione dei livelli di performance è scaturita dalla constatazione che, mentre il decisore privato sarà guidato soprattutto dalla volontà di raggiungere i massimi profitti per la propria azienda minimizzando il più possibile i costi, il decisore pubblico può avere mire più complesse e articolate, in quanto si fa garante delle esigenze delle collettività che in certo qual modo rappresenta.

Partendo da questi presupposti, la performance è stata intesa come sommatoria di 4 Macro Attributi ritenuti fondamentali; ovvero:

1. Macro Attributo Ecologico;
2. Macro Attributo Economico;
3. Macro Attributo Tecnico-Prestazionale;
4. Macro Attributo Sociale.

Il primo, ritenuto il più importante per le problematiche trattate, mira ad indagare le condizioni ecologiche cui versa il sistema in esame. Il secondo, considera lo sviluppo economico come base del benessere collettivo e, in quanto tale, mira ad indagare i benefici economici rilevabili nel medio e lungo periodo per il singolo impianto e per settore produttivo, nonché a definire i costi, ovvero le impedenze, che detti impianti o settori devono sopportare nel medio e breve periodo per un adeguamento a condizioni accettabili di emissione. Il Macro Attributo Tecnico-Prestazionale vuole descrivere il processo produttivo in termini di efficienza prestazionale. Infine, il Macro Attributo Sociale descrive le uguaglianze e le disparità all'interno della popolazione attuale, occupandosi in modo appropriato di problemi quali l'uso delle risorse, del sovraconsumo e la povertà, la salute o la sicurezza delle collettività.

Il discretizzare le problematiche trattate attraverso queste 4 “chiavi di lettura” ha l'intento di includere una revisione del sistema sia nel suo insieme che nelle singole parti, considerando il benessere dei sottoinsiemi ecologico, economico e sociale, la loro condizione –così come l'evoluzione ed il cambiamento di questa condizione stessa-, le parti che la compongono e le interazione tra le parti. Il considerare questi 4 aspetti, ritenuti come questioni fondamentali per l'analisi, vuole riflettere i costi ed i benefici che le attività umane hanno per i sistemi umano ed ecologico, dal punto di vista monetario e non, ritenendo che, pur conservando la priorità degli aspetti ambientali, le problematiche trattate hanno forti ricadute e/o sono altamente condizionate da aspetti sociali, istituzionali e di relazione.

3.2 Gli Attributi Prestazionali per la misurazione della performance degli impianti: le Variabili

Una volta stabiliti i 4 Macro Attributi per la valutazione della performance, si è passati alla caratterizzazione di ognuno di essi attraverso un set di variabili-attributi.

Le variabili individuate in letteratura ed opportunamente selezionate sono state intese come strumenti idonei per “indagare” un problema altamente articolato. Esse hanno il compito di indagare la complessità, ovvero definire, contesto per contesto, la specificità dei Macro Attributi selezionati definendone la natura, nonché alcune relazioni tra le parti. La definizione di dette variabili mira a ridurre l’incertezza offrendo un’interpretazione significativa e chiara, tesa a migliorare l’efficacia delle scelte intraprese.

La selezione delle variabili significative è stata effettuata sulla base di una serie di criteri di seguito riportati. Ogni variabile- attributo è stata opportunamente selezionata in base a:

- **pertinenza** con il Macro Attributo che rappresenta e, soprattutto, in grado di soddisfare le indicazioni richieste dalla definizione degli obiettivi della ricerca;
- **rilevanza** per la formulazione delle policies, ovvero il set di variabili deve essere in grado di orientare efficacemente e facilitare, il più chiaramente e responsabilmente possibile, il comportamento decisionale del decisore finale;
- **comprensibilità** in quanto ogni variabile è espressa attraverso un’unità di misura e, pertanto, deve lasciar intendere l’intensità del fenomeno rilevato;
- **fattibilità** in relazione alle basi di dati disponibili;
- **universalità** delle informazioni, ovvero il set di variabili deve essere rappresentativo di ogni contesto territoriale e di ogni ambito produttivo rilevato.

A titolo di esempio si riportano di seguito una lista di variabili-attributi caratterizzanti il Macro Attributo Ecologico (UE, 2000). Per ognuna di esse, in base ai principi sopraelencati, viene indicata la politica verso cui ogni variabile è orientata, la descrizione chiara e univoca della variabile, coadiuvata da una breve definizione al fine di migliorarne la comprensibilità a chi poi effettivamente dovrà trattare tali variabili, ed infine l’unità di misura.

Politica ambientale perseguita	Descrizione	Definizione	Unità di misura
Inquinamento atmosferico	Emissioni di ossidi di azoto (NO _x)	Quantità totale misurata in un anno di emissione di ossidi di azoto derivanti da tutte le attività economiche; in particolare dalla trasformazione e produzione di energia, dall’industria, dai trasporti, dai settori terziario e civile	Kton NO _x per anno
	Emissioni di composti organici volatili non metanici (NMVOC _s)	Quantità totale misurata in un anno di emissione di composti organici volatili non metanici, derivanti da tutte le attività economiche, in particolare da quelle collegate all’energia, ai processi industriali e all’uso non industriale di solventi organici	Kton NMVOCs per anno
	Emissioni di anidride solforosa (SO ₂)	Quantità totale annua di emissioni di anidride solforosa derivante da tutte le attività economiche, incluse la produzione e trasformazione di energia, l’industria, il trasporto e i settori domestico e terziario	Kton SO ₂ per anno
	Emissioni di particolato	Quantità totale annua di emissioni di particolato derivante da tutte le attività economiche, incluse la produzione e trasformazione di energia, l’industria, il trasporto e i settori domestico e terziario	Kton di particelle per anno
	Consumo di benzina e gasolio per veicoli	Consumo totale di benzina e gasolio per tutte le categorie di veicoli stradali su base annua	Kton di benzina e gasolio per anno
	Produzione di energia primaria e biomassa	Consumo di energia primaria totale annua comprendendo l’energia sottoforma di combustibile fossile, calore, elettricità	Mtoe per anno

Cambiamento climatico	Emissioni di anidride carbonica (CO ₂)	Emissioni totali di origine antropica di anidride carbonica (CO ₂) dai settori energetico, dai processi industriali, dai solventi e dall'uso di altri prodotti, dall'agricoltura, dal cambiamento d'uso del suolo e foreste e dai rifiuti. Dato che l'eliminazione di CO ₂ è già bilanciata, questo indicatore si riferisce alle emissioni nette; le emissioni naturali non sono conteggiate	ton CO ₂ per anno
	Emissioni di metano (CH ₄)	Emissioni totali di origine antropica di metano (CH ₄) dai settori dell'energia, dai processi industriali, dai solventi e dall'uso di altri prodotti, dall'agricoltura, dal cambiamento d'uso del suolo e foreste e dai rifiuti. Le emissioni naturali non sono conteggiate in questo indicatore	ton CH ₄ per anno
	Emissioni di protossido di azoto (N ₂ O)	Emissioni di origine antropica di protossido di azoto (N ₂ O) dai settori dell'energia, dai processi industriali, dai solventi e dall'uso di altri prodotti, dall'agricoltura, dal cambiamento d'uso del suolo e foreste e dai rifiuti. Le emissioni naturali non sono conteggiate in questo indicatore	ton N ₂ O per anno
	Emissioni di clorofluorocarburi (CFC)	Emissioni totali di CFC. Ogni singola emissione viene moltiplicata a seconda del Global Warming Potential e quindi sommate	CO ₂ per anno, anche le emissioni di CFC sono espresse in Global Warming Potentials (CO ₂)
	Emissioni di ossidi di azoto (NO _x)	Emissioni totali di origine antropica di ossidi di azoto (NO _x) dai settori dell'energia, dai processi industriali, dai solventi e dall'uso di altri prodotti, dall'agricoltura, dal cambiamento d'uso del suolo e foreste e dai rifiuti. Le emissioni naturali non sono conteggiate in questo indicatore	ton NO _x per anno
	Emissioni di ossidi di zolfo (SO _x)	Emissioni totali di ossidi di zolfo. Emissioni naturali (ad esempio da eruzioni vulcaniche) non sono conteggiate in questo indicatore	ton di emissioni di ossidi di zolfo per anno

3.3 La misurazione della performance degli impianti: il sistema dei Pesi

Il procedimento utilizzato mira ad assegnare un valore di performance ad ogni Macro Attributo e, quindi, ad una valutazione prestazionale globale per impianto.

La valutazione, tuttavia, non è affatto facile, in quanto le variabili sono numerosissime e legate da interazioni intricate. Non tutte le variabili-attributi individuate, infatti, possono essere direttamente comparate, o essere collocate in una stessa scala numerica. Sorge il problema di adeguare, nei limiti del possibile, la conoscenza alla complessità, utilizzando mezzi che consentano un apprezzamento dimensionale capace di individuare ambienti qualitativamente e quantitativamente diversi. Uno dei mezzi più frequentemente utilizzati per ovviare a questo inconveniente è l'attribuzione di pesi alle variabili. Si è operato, pertanto, attraverso una standardizzazione che, con opportune manipolazioni, ha consentito la trattazione simultanea di più variabili. Il primo passo da fare consiste nell'eliminare le diverse unità di misura delle variabili, quindi nel determinare dei numeri indice (indipendenti dalle rispettive unità di misura) compresi in intervalli predefiniti ed identici per ogni variabile considerata. La standardizzazione è, dunque, una tecnica che fa perdere l'analiticità dei dati, rendendoli adimensionali, ma che contemporaneamente consente la possibilità di una valutazione comparativa, ottenendo vettori aggregabili numericamente tra loro, prescindendo da tutti quei problemi derivanti dalla presenza delle differenti unità di misura.

La trasformazione in numeri indice in genere può essere effettuata attraverso la divisione di ogni valore del vettore degli indicatori di performance per una delle seguenti opzioni:

1. il valore migliore della serie (the best position one). Si tratta, in pratica, di un'analisi di tipo comparativo;

2. il valore medio della serie;
3. il valore riferito all'area di riferimento per lo studio. Si sceglie, ad esempio, il valore massimo o minimo a seconda degli obiettivi dello studio; oppure si sceglie il valore medio riferito all'ambito spaziale in cui si è effettuato il campionamento (per quanto riguarda, ad esempio, la densità di popolazione presente nella località dove è localizzato l'impianto, è possibile scegliere la densità territoriale media dei comuni della regione).

In ogni caso, i numeri indice, esprimono implicitamente una distanza del singolo valore rispettivamente dalla migliore performance, dal valore medio della popolazione di casi indagata e dal valore riferito all'area totale di studio. Nel caso in esame si è scelto di operare adottando la prima opzione, in quanto ha permesso di ottenere un confronto interno tra casi istruendo subito una lista di situazioni più o meno performanti rispetto alla situazione ritenuta migliore. Questa analisi di tipo comparativo consente di fissare limiti attraverso la stesura di una graduatoria ottenibile in funzione degli obiettivi stabiliti nella fase iniziale del processo decisionale. I casi vengono ordinati secondo il valore numerico dell'indicatore che consente di misurare la loro capacità di risposta all'obiettivo da raggiungere. Gli altri casi vengono ordinati di conseguenza secondo una classifica basata sulla minor distanza dalla miglior performance. Allo stesso tempo, nella valutazione numerica delle variabili è opportuno prendere in considerazione una serie di "vincoli" di diversa natura. Alcune variabili (caratterizzata da una propria unità di misura) possono avere la particolarità di essere accompagnate da un valore limite al quale è possibile riferire la misura effettuata e quindi fare un paragone in grado di descrivere lo stato di norma rispetto a condizioni normali o accettabili. Tali valori limite, che rappresentano un vero e proprio vincolo nella valutazione numerica delle variabili stesse, possono essere di natura diversa:

1. **Convenzionali.** Più soggetti si accordano per fissare un certo valore da non oltrepassare e al quale sono riferite alcune condizioni di qualità o di normalità che rappresentano l'obiettivo della collettività o del gruppo di decisori.
2. **Naturali.** Si tratta di limiti imposti dalla natura, il cui superamento innesca situazioni di allarme o addirittura di pericolo. È il caso, ad esempio, di molte variabili caratterizzanti il Macro Attributo Ecologico dove la concentrazione di inquinanti, oltre una soglia limite, configura situazioni di allarme.
3. **Regolativi.** Alcune leggi o regolamenti stabiliscono, sulla scorta di analisi, studi, validazioni delle misure, determinate soglie da non superare, oltre le quali scattano prescrizioni amministrative.
4. **Statistici.** Gli strumenti statistici offrono la possibilità di individuare comportamenti e tendenze delle serie di dati raccolti e di indicatori calcolati, fissando alcuni limiti di natura statistica che possono aiutare l'analista a compiere delle comparazioni.

Il giudizio di valore è espresso per ogni variabile, tramite un punteggio compreso in una scala di valori prefissata ed uguale per ogni Macro Attributo. Il punteggio dipende dal valore che la variabile attributo ottiene in funzione del relativo significato rispetto ad un target e rispetto agli obiettivi (interessi) definiti preventivamente.

Si è proceduto, pertanto, attraverso due tipologie di valutazioni numeriche:

1. sono stati ordinati i Macro Attributi assegnando loro un peso proporzionalmente all'importanza assunta nelle problematiche oggetto della ricerca. Il peso assoluto assegnato al Macro Attributo rappresenta, in sintesi, il limite superiore della somma dei singoli pesi delle variabili caratterizzanti il Macro Attributo stesso. La regola adoperata per l'assegnazione dei pesi è stata individuata misurando la grandezza degli impatti di un'azione rispetto alla problematica affrontata. Se un impatto è di forza (o estensione, durata, irreversibilità, e così via) 1, 2 o n, il danno sarà accresciuto in proporzione. Gli impatti possibili possono essere ordinati assegnando dei pesi 1, 2, 3 e 4 positivi alle azioni classificabili linguisticamente come debolissime, deboli, medie o forti.
2. sono state standardizzate le singole variabili-attributo in una scala di pesi, ricavati attraverso un approccio di tipo the best position one.

I pesi assoluti attribuiti ad ogni Macro Attributo sono rispettivamente:

Macro Attributo	Peso Assoluto	Giudizio qualitativo
A (ecologico)	9	Importanza estrema
A (economico)	7	Importanza molto forte
A (tecnico-prestazionale)	5	Importanza forte
A (sociale)	3	Importanza moderata

Tabella 1: Assegnazione dei pesi assoluti per Macro Attributo

A titolo esemplificativo, si riporta la metodologia per il calcolo del Macro Attributo Ecologico, considerando 7 impianti e 4 variabili (con i relativi valori numerici) descrittive il Macro Attributo considerato.

M.A _{ecol}	Impianti						
	1	2	3	4	5	6	7
Variabili-Attributo	Valore variabile						
X	300	150	160	124	400	800	300
Y	400	600	800	400	100	200	300
Z	100	789	400	245	800	578	400
W	70	10	56	80	10	40	30

Tabella 2: Esempio di calcolo del Macro Attributo Ecologico

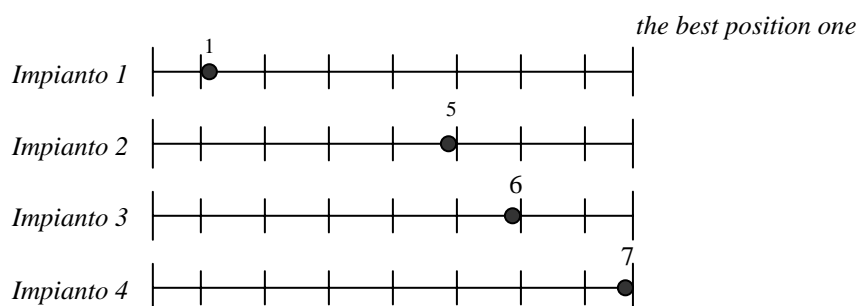
Supponendo che le variabili X,Y,Z prese in considerazione fanno tutte riferimento a livelli di emissione di inquinanti nell'aria, mentre la variabile W si riferisce alla quantità di rifiuti riciclati per anno, i valori limiti presi in considerazione per la standardizzazione delle variabili in esame saranno rispettivamente:

- 124 per la variabile X;

- 100 per la variabile Y;
- 90 per la variabile Z;
- 80 per la variabile W.

Per le prime due si scelgono i livelli di performance più bassi in quanto rappresentano un fenomeno negativo (emissione) e quindi la condizione migliore è quella che detti valori siano minimi. Per la terza è stato considerato un valore limite più piccolo rispetto ai singoli valori riscontrati (90 a fronte di 100, valore minimo rilevato), in quanto esiste un vincolo oggettivo imposto per legge (valore massimo di emissione consentito). Per la quarta variabile, infine, è stato scelto il valore massimo riscontrato, in quanto la variabile raffigura un evento positivo in termini di performance. Il calcolo dei valori (pesi) attribuibili ad ogni variabile considerata nell'esempio può essere ottenuto attraverso il processo di standardizzazione precedentemente descritto. Per la variabile X, ad esempio, tale processo può essere così schematizzato:

Variabile X

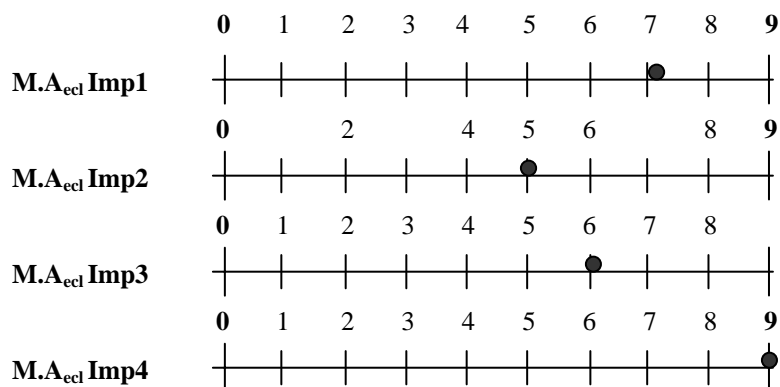


Il decisore può scegliere i limiti delle singole scale in modo tale da definire la criticità di ogni variabile. Procedendo con la stessa metodologia per ogni variabile-attributo qualificante il Macro Attributo Ecologico è possibile ricavare la prestazione di ogni singolo impianto per quanto riguarda la caratterizzazione ecologica. In breve, il valore sintetico del Macro Attributo Ecologico per l'Impianto 1 sarà funzione delle quattro variabili (X, Y, Z, W) considerate nell'esempio. Ovvero:

$$\mathbf{M.A_{ecol} Imp1} = f(X, Y, Z, W) = a$$

La fase finale consiste in pratica nella aggregazione dei numeri indice precedentemente calcolati, quindi nella costruzione di un unico indice sintetico in grado di riassumere le diverse variabili rappresentate da altrettanti indicatori precedentemente trasformati, a loro volta, in indici. Si ottiene, così, un unico vettore-indice di valori (quindi un'unica misura), con ottime caratteristiche di espressività e sinteticità, indispensabili per poter operare interpretazioni e valutazioni unitarie, altrimenti impossibili. Il vettore ottenuto consente facili interpretazioni all'analista, così come permette di sviluppare interattivamente quella fase di "modellizzazione numerica". Una volta calcolati i Macro Attributi Ecologici per singolo impianto è possibile confrontarli operando, ancora una volta, attraverso una scala di pesi il cui valore massimo è dato, però, dall'importanza che il parametro assume nel contesto in esame. Nel caso specifico analizzato come esempio detto valore è pari a 9 (importanza estrema).

Iterando il procedimento per tutti i Macro Attributi (ovvero per ogni singola variabile che li caratterizza prima, e in maniera complessiva dopo) è possibile ricavare un indice sintetico per ognuno di essi. Naturalmente, ognuno nella fase di aggregazione sarà valutato sulla base delle scale di importanza definite in via preliminare. Il significato dei valori delle scale non è mutuabile dato che si è scelta come rappresentazione quella della scala semantica di Saaty.



L'implementazione delle variabili, la loro valorizzazione, la successiva interpretazione e valutazione (trasformandoli in punteggi) dà luogo, in sintesi, ad una matrice di valori che rappresentano il peso assunto da ogni Macro Attributo rispetto al solo sottosistema (ecologico, economico, tecnico o sociale) o in relazione al sistema nel suo totale (interazione di tutte le componenti).

		Macro Attributi							
		M.A _{ecl}		M.A _{ecn}		M.A _{ten}		M.A _{soc}	
		Sotto-sistema	Sistema tot	Sotto-sistema	Sistema tot	Sotto-sistema	Sistema tot	Sotto-sistema	Sistema tot
Variabili	Peso								
X									
Y									
Z									
W									
Y									

La combinazione dei valori sintetici calcolati per ognuno dei 4 Macro Attributi restituirà il grado di performance dell'impianto j-esimo; ovvero, in forma analitica, sarà:

$$\text{Perf.Impj} = f(j\text{-M.A}_{\text{ecl}}, j\text{-M.A}_{\text{ecn}}, j\text{-M.A}_{\text{ten}}, j\text{-M.A}_{\text{soc}}) = x$$

Ipotizzando una perfetta non correlazione tra i MacroAttributi, si può supporre che la f sia una funzione additiva.

3.4 L'assegnazione delle quote di emissione

Una volta definito il livello di performance per singolo impianto, è possibile calcolare l'esigenza del singolo settore produttivo operando una media delle performance degli impianti appartenenti allo specifico settore. A titolo esemplificativo:

- presupposto che esistono 10 impianti sia nel Settore Energetico che in quello Edilizio
- definite le sommatorie delle performance degli impianti per ognuno dei due settori, rispettivamente pari a:
 - Perf.Sett.Energia = (Perf.Imp.) = 735
 - Perf.Sett.Edilizia = (Perf.Imp.) = 523

Le esigenze dei due settori saranno rispettivamente pari a:

- Esigenza Sett.Energia = 73,5
- Esigenza Sett.Edilizia = 52,3

Proporzionalmente al livello di esigenza dei settori è possibile, pertanto, presupporre una prima allocazione delle quote di emissione per settore produttivo. Riferendosi all'esempio sopra riportato e supponendo che le quote di emissione assegnabili siano in totale 100, per il Settore dell'Energia è facile calcolare le quote attraverso la seguente proporzione:

100(Tot quote):Esigenza totale(Esig.Sett.Energ.+Esig.Sett.Edil.) = x:73,5(Esig.sett.Energ.)
ovvero:

$$100 : (73,5+52,3) = x : 73,5$$

le quote assegnate, risultato della proporzione, sono pertanto pari a 58,42

Analogamente, per il Settore dell'Edilizia si avrà:

$$100 : 125,8 = x : 52,3$$

le quote assegnate sono pertanto 41,57

Una volta definito il grado di esigenza di ogni settore, ovvero ripartite le quote di emissione per ogni settore produttivo, è possibile operare una ri-distribuzione delle quote assegnate per singolo impianto rispetto ai livelli di performance calcolati nella fase precedente.

Rimanendo nell'esempio finora trattato, immaginando che l'Impianto A abbia una performance pari a 80, si hanno a disposizione le seguenti informazioni:

- Perf.Settore Energia = 735
- Quote Settore Energia = 58,42
- Perf.Imp.A = 80

attraverso una semplice proporzione è possibile allocare le quote per l'Impianto A:

$$x : 80 = 58,42 : 735$$

da cui si ricava che le Quote assegnate all'Imp.A sono in totale 6,35

3.5 Definizione della matrice delle decisioni e della rispettiva funzione obiettivo per impianto

Nel momento in cui vengono assegnate le quote di emissione a ciascun impianto, il proprietario (o chi per lui abbia diritto giuridico) si troverà nella condizione di dover effettuare delle scelte operative in funzione delle quote assegnatogli, dei costi di investimento e dei ritorni economici rilevabili nel lungo periodo. L'identificazione degli effetti che si

possono generare nel lungo periodo non può essere genericamente predefinita, ma, al più, può essere adattata alle specifiche situazioni di partenza (stato di performance) e di progressivo raggiungimento degli obiettivi prefissati (abbattimento delle emissioni). D'altra parte i contenuti delle azioni di cambiamento non possono essere uniche ed univocamente determinate, in quanto per ciascun caso esaminato possono prospettarsi situazioni diversificate che implicano un mix di interventi ed un conseguente livello di risorse finanziarie. Da quanto detto emergono tre vincoli che possono essere definiti di ordine metodologico (Gugliormella G., 1989):

1. bisogna internalizzare le possibili (probabili) variazioni quantitative dei dati di impostazione (input) indotte da fattori di incertezza;
2. bisogna interpretare i possibili scenari degli obiettivi (output) alla luce dei fattori di variabilità individuati;
3. è opportuno governare la correlazione dinamica tra fattori di variabilità degli obiettivi (output) ed i fattori di incertezza dei dati di impostazione (input) determinando nelle diverse fasi operative una continua flessibilità delle decisioni di impostazione, di attuazione e di controllo.

3.6 Un esempio di formalizzazione di un macro-attributo

In funzione delle considerazioni fatte nel paragrafo precedente si riporta a titolo di esempio la formalizzazione di un macro attributo, quello economico, utilizzando un modello presente in letteratura (Wang E.J., 2001). Il Modello di Wang ben si presta alle restrizioni di carattere metodologico individuate in quanto introduce al suo interno un confronto diretto tra gli indicatori ed i valori obiettivo (valori di riferimento). Il modello permette di determinare, attraverso la costruzione di scenari futuri di riferimento, quali schemi o alternative massimizzano gli effetti a lungo termine e, pertanto, si rilevano come soluzioni attuabili. Nel modello, la strategia perseguita è quella di cercare di utilizzare varie alternative che includano sia le tecnologie individuate, sia gli incentivi economici. Inoltre ogni strategia di riduzione delle emissioni deve essere abbastanza flessibile, in maniera tale da adattarsi alla eterogeneità delle tecnologie disponibili e degli incentivi economici accettati dalla società, nonché coerenti con le linee politiche.

Fatte queste premesse il modello di costo per il settore industriale elettrico (preso come esempio-pilota dall'autore) deve essere caratterizzato dai seguenti attributi:

1. tipologie di tecnologie
2. tipi di carburante
3. sorgenti di carburante e stabilità
4. minimizzazione del costo di elettricità per soddisfare le richieste degli utenti
5. compatibilità con la regolamentazione ambientale.

Sono prospettate poi 4 alternative per cercare di mitigare le emissioni di CO₂, ovvero:

1. rimanere allo stato originario, quindi non fare nulla;
2. cambiare carburante;
3. delocalizzare l'impianto;
4. acquistare quote di emissione.

Le alternative di scelta di nuovi impianti, di delocalizzare gli impianti e cambiare carburante nel modello sono formulate come funzione di minimizzazione del costo a lungo termine comprensivo anche delle alternative dichiarate precedentemente. Ogni anno sia gli impianti esistenti che quelli di progetto devono scegliere una delle quattro alternative prefigurate, in accordo con le condizioni standard di emissione di CO₂ della FCCC. La funzione obiettivo del Modello di Wang tende a minimizzare le componenti di costo includendo penalità o benefici di emissioni (maggiori o inferiori), investimenti di capitale, costo del carburante, costi di manutenzione e gestione dei costi per l'acquisto di quote di emissione. Si riportano di seguito la formulazione completa della funzione, mentre per una descrizione puntuale delle variabili si rimanda all'articolo dell'Autore.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{y=1}^Y (C_y - S_y) \cdot (r_1 \cdot J_{1y} - r_2 \cdot J_{2y}) + \sum_{y=1}^Y \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N [(k_{jn} \cdot (1 + c_n)^y \cdot I_{jyn}) + \\
 & E_{jyn} (f_{jn} \cdot (1 + d_n)^{y^y} + m_{jn} \cdot (1 + g_n)^y + Z_{jn} \cdot (1 + \beta_n)^y)] + \\
 & \sum_{y=1}^Y \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N [(k_{pn} \cdot (1 + c_n)^y \cdot I_{pyn}) + \\
 & E_{pyn} (f_{pn} \cdot (1 + d_n)^y + m_{pn} \cdot (1 + g_n)^y + Z_{pn} \cdot (1 + \beta_n)^y)]
 \end{aligned}$$

Dall'analisi della funzione obiettivo proposta, l'Autore utilizza una funzione additiva per correlare i vari parametri aggregati. Il calcolo delle quote di emissione rientra direttamente nella funzione proposta ed è rappresentata dalla variabile S_y .

Inoltre, i modelli ottimizzanti una funzione (obiettivo), come appunto quello di Wang, permettono, in genere, la parametrizzazione, ossia la rappresentazione di una o più parti dell'output in funzione dei valori di uno o più parametri esogeni. Questa caratteristica risulta fondamentale sia nella fase di analisi, sia nella individuazione dei risultati. È possibile in tal modo individuare, infatti, gli effetti delle variazioni di un parametro particolarmente importante o affetto da incertezza. Nella fattispecie, gli effetti della variazione del massimo livello di emissioni di CO₂ permesse, possono essere visualizzati attraverso le variazioni del mix di energia primaria e, nell'analisi delle componenti, dalle variazioni del livello di marginalità delle tecnologie (ad esempio di un impianto di cogenerazione), da cui è possibile dedurre l'effetto di tale vincolo sulla struttura del sistema e sui i costi specifici dei servizi (ALEP, 2000). Il metodo degli scenari permette di mettere in ordine cronologico –relativo e assoluto– una serie di eventi futuri, logicamente collegati tra loro e racchiudibili in una circoscritta dimensione di probabilità di accadimento. Esso scaturisce, pertanto, da due tipi di

analisi: sincronica, riferita allo stato del sistema in un dato momento, e diacronica, volta a delineare come evolverà la situazione in atto. Gli scenari che vengono a configurarsi devono essere intesi come espressione di un processo costruito sulla base di diverse visioni alternative. In generale, per cautelarsi contro le incertezze di proiezioni a lungo termine o dei dati di input, è opportuno analizzare diverse linee di sviluppo futuro del sistema relative a cambiamenti più complessi nel database del modello, cioè a variazioni di più di un parametro. E' importante, per esempio, valutare con diverse serie di run del modello differenti ipotesi di costo di importanti combustibili nell'orizzonte temporale dello studio, analizzandone i risultati in termini di mix delle fonti e scelta delle tecnologie. Ciascuna ipotesi deve essere basata sia sul previsto sviluppo economico globale, sia sulle condizioni specifiche dell'area d'indagine. Tali ipotesi sono assemblate in "scenari", ciascuno dei quali dà luogo ad un database del modello e ad un output; l'insieme di informazioni derivanti dai risultati di scenario permette poi di trarre delle conclusioni sullo sviluppo ottimale futuro del sistema. In particolare, nel modello utilizzato, la fase di determinazione della decisione migliore necessita, come input di un piano di produzione pianificato in un orizzonte temporale definito e del relativo valore della funzione obiettivo. L'analisi comparativa dei diversi scenari permette di rilevare le strategie valide, quelle caratterizzate dalla stesse opzioni energetiche e tecnologiche al variare dei parametri di scenario.

4 CONCLUSIONE E LAVORI FUTURI

In questo lavoro è stato presentato un modello ibrido per la distribuzione delle quote di emissione in funzione del protocollo di Kyoto. Abbiamo utilizzato un approccio combinato e sono stati proposti differenti macro-attributi in modo tale da poter avere una visione globale nell'incidenza delle emissioni su vari settori. Possibili linee di sviluppo futuro sono da ricercare nella definizione di nuove funzioni di correlazione tra i parametri individuati nei singoli attributi e tra i macro-attributi.

5 Bibliografia

- ALEP Guide Book (2000) *Guidebook on Advanced Local Energy Planning*, International Energy Agency "Energy Conservation in Buildings and Communities", Annex 33: Advanced Local Energy Planning, Task 2, Subtask 2, BMBF, 2000
- Criqui P., Cattier F., Kouvaritakis N., Thonet C. (1999) *POLES : A world energy model developed in the framework of the EC-DGXII JOULE program : Climate Technology Strategy within Competitive Energy Markets towards New and Sustainable Growth*.
- De Leo G.A., Rizzi L., Caizzi A., Gatto M., (2001) The economic benefits of the Kyoto Protocol, *Nature*, 413, 478-479.

- Downing T.E., Eyre N., Greener R. and Blackwell D. (1996) *Projected Costs of Climate Change for Two Reference Scenarios and Fossil Fuel Cycles*, Oxford: Environmental Change Unit.
- Fusco Girard L., Nijkamp P., (1997) *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*, Franco Angeli Editore, Milano
- Gugliormella G., (1989) La valutazione della pianificazione urbana e regionale di sviluppo di lungo termine con il metodo sistemico-dinamico, in Barbanente A. (a cura) *Metodi di valutazione nella pianificazione urbana e territoriale*, CNR, Bari, 75-96.
- Janssen R, Nijkamp P, Rietvelt P, (1990) Qualitative multicriteria methods in the Netherlands, C A Bana e Costa (a cura) *Reading in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer, Berlino, 383–409
- Korhonen P., Moskowitz H. e Wallenius J. (1992) Multiple Criteria Decision Support - A Review. *European Journal of Operational Research*, 63, 361-375.
- Nordhaus W.D. and Boyer J., (2000) *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, MIT Press, Boston, MA, USA, 232
- Regemorter D van, Goldstein G (1998) *Development Of MARKAL - Towards a Partial Equilibrium Model*, ETSAP Technical Paper, Dec 1998
- Sanstad A.H., Greening L.A. (1998), Economic models for climate policy analysis: A critical discussion, *Environmental Modelling and Assessment*, 3, 3-18
- Seebregts A.J., Smekens K.E.L., Goldstein G.A. (2001) *Energy/Environmental modeling with the MARKAL family models*, OR2001 Conference, Energy and Environment Session, September 3-5, Duisburg, Germany
- Tol R.S.J. (1996) The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution. In: K.A. Miller and R.K. Parkin (a cura) *An Institute on the Economics of the Climate Resource*, University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, 471-496.
- Torgerson, W.S. (1952) Multidimensional scaling: Theory and method. *Psychometrika*, 17, 401-419
- UE-Unione Europea (2000) *Indicatori di pressione ambientale*.
- UE-Unione Europea (2005), *Economic Evaluation of Quantitative Objectives for Climate Change*, <http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/studies2.htm#5>
- US/DOE (Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy) (2000), *The National Energy Modeling System: An Overview*, Washington, DC
- Vincke P. (1992) *Multicriteria Decision-aid*, J.Wiley & Sons, New York, U.S.A.
- Wang E.J. (2001) Application of linear programming to environmental mitigation alternatives for utility development under aggregate emission control, *Journal of the chinese institute of industrial engineers*, 18, 3, 31-48

ABSTRACT

In this paper we propose an hybrid approach to give a support in the decision making process for the allocation of CO₂ emission quota in the context of Emission Trading defined in the Kyoto Protocol. The model is based on the idea of a global improvement in the urban life following the principle of ecological and economic sustainability. Our technique takes into account the usual technological and economic components influenced by energy policy and territorial aspects as citizen welfare, social equity, public health, homeland security and rational use of assets. We propose a support to politic choices which explicitly takes into account both global goals (related to the reduction of emissions and energy consumptions) and local ones finalized to the urban requalification.