



Università della
Calabria



Università degli
Studi della
Basilicata



Politecnico di
Bari

*Dottorato di Ricerca in
Ingegneria Idraulica per l'Ambiente e il Territorio - XIX Ciclo*

Settore scientifico-disciplinare ICAR/02

Dissertazione per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca

Sostenibilità della gestione delle risorse idriche

Daniela Pantusa

Coordinatore
Prof. Ing. Paolo Veltri

Tutor
Prof. Ing. Mario Maiolo

Cosenza, Novembre 2006



Tesi elaborata presso il Laboratorio di Modellistica Numerica per la Protezione Idraulica del Territorio del Dipartimento di Difesa del Suolo, Università della Calabria.

INDICE

INTRODUZIONE	pag. 1
CAPITOLO I MODELLI PARAMETRICI PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ	pag. 7
1.1 Rassegna dei modelli parametrici per la valutazione della sostenibilità	pag. 7
1.1.1 UNCSD	pag. 8
1.1.2 MDGs	pag. 13
1.1.3 Human Development Index HDI	pag. 19
1.1.4 World Bank Four Capital Framework	pag. 21
1.1.5 DPSIR	pag. 22
1.1.6 Environmental Sustainability Index ESI	pag. 24
1.1.7 Environmental Performance Index EPI	pag. 27
1.1.8 EPI2006	pag. 28
1.1.9 Living Planet Index LPI	pag. 31
1.1.10 Ecological Footprint	pag. 32
1.1.11 Dashboard	pag. 32
1.1.12 Sustainable Development Indicators SDI	pag. 33
1.1.13 US-IWG-SDI	pag. 35
1.1.14 Monet	pag. 36
1.1.15 Policy Performance Index PPI	pag. 37
1.1.16 ISSI	pag. 39
1.1.17 Campagna per le città sostenibili	pag. 41
1.2 Il Progetto EPSILON	pag. 42
CAPITOLO II SOSTENIBILITÀ DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	pag. 50
2.1 Modelli per la valutazione della sostenibilità della gestione delle risorse idriche	pag. 50
2.1.1 Combinazione pesata di indici	pag. 53
2.1.2 Efficienza, Sopravvivenza e Sostenibilità	pag. 54
2.1.3 Combinazione pesata di indici stocastici	pag. 56
2.1.4 Irreversibilità e leggi economiche	pag. 61
2.1.5 Reversibilità ed Entropia	pag. 63

CAPITOLO III MODELLO PARAMETRICO PER LA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	pag. 67
3.1 Una metodologia per la valutazione della sostenibilità della gestione delle risorse idriche	pag. 67
3.1.1 Obiettivi e struttura del modello	pag. 69
3.1.2 Applicazione del modello	pag. 76
CAPITOLO IV CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE DEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO	pag. 88
CAPITOLO V RICERCA OPERATIVA	pag. 99
5.1 Origini e campi di applicazione della Ricerca Operativa	pag. 99
5.2 Modelli della ricerca operativa	pag. 104
5.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati	pag. 104
5.2.2 Formulazione del modello matematico	pag. 105
5.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello	pag. 107
5.2.4 Test e validazione del modello	pag. 108
5.2.5 Predisposizione di un sistema di supporto all'applicazione pratica del modello	pag. 109
5.2.6 Implementazione del sistema	pag. 109
5.3 Programmazione lineare	pag. 110
5.4 Risoluzione dei problemi di programmazione lineare	pag. 116
CAPITOLO VI APPLICAZIONE DEL PROBLEMA DEI TRASPORTI ALLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE	pag. 121
6.1 Il problema dei trasporti	pag. 121
6.2 Il problema dei trasporti applicato alla gestione delle risorse idriche	pag. 124
6.3 Applicazione del problema dei trasporti per la gestione delle risorse idriche della regione Calabria	pag. 126
6.3.1 Inquadramento generale della regione Calabria	pag. 126
6.3.1.1 Inquadramento territoriale	pag. 126
6.3.1.2 Aspetti demografici	pag. 130
6.3.1.3 Disponibilità idropotabili e forme gestionali esistenti	pag. 133

6.3.2 Applicazione al caso delle risorse idriche della regione Calabria	pag. 142
6.3.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati	pag. 142
6.3.2.2 Formulazione del modello matematico	pag. 151
6.3.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello	pag. 154
6.4 Applicazione del problema dei trasporti all’Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 3” – Crotone	pag. 156
6.4.1 Applicazione del problema dei trasporti al primo livello di approfondimento	pag. 156
6.4.1.1 Definizione del problema e raccolta dei dati	pag. 156
6.4.1.2 Formulazione del modello matematico	pag. 161
6.4.1.3 Determinazione delle soluzioni del modello	pag. 164
6.4.2 Applicazione del problema dei trasporti al secondo livello di approfondimento	pag. 169
6.4.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati	pag. 170
6.4.2.2 Formulazione del modello matematico	pag. 171
6.4.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello	pag. 173
CONCLUSIONI	pag. 177
BIBLIOGRAFIA	pag. 180

INTRODUZIONE

Il concetto di sostenibilità, ormai entrato nelle quotidiane discussioni tecniche e socio-economiche non solo scientifiche, necessita di studi finalizzati alla sua quantificazione e misura; l'avvio di procedure e metodologie di stima della sostenibilità permetterebbero di tradurre in concreta applicazione quello che è un obiettivo di esigenza prioritaria della società odierna ormai universalmente riconosciuto.

Il rapporto "Our common future", della World Commission on Environment and Development, noto come rapporto Brundtland (1987), definisce lo sviluppo sostenibile come *"uno sviluppo tendente a soddisfare i fabbisogni attuali senza compromettere le capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie necessità"*. La definizione di sviluppo sostenibile data in tale rapporto ha dato l'avvio, in molti settori, ad attività e discussioni in merito alla necessità di raggiungere un equilibrio tra ambiente, società ed economia, e diversi sono gli studi volti all'implementazione di una più specifica definizione di sostenibilità e alla sua quantificazione e misura.

Il concetto di sostenibilità richiede, non solo per la società odierna, ma anche per le generazioni future la possibilità di usufruire di aria e acqua non inquinata, di foreste e coste non degradate, di ambienti urbani adatti e funzionali alle esigenze imposte dagli standard di vita; uno sviluppo è, quindi, sostenibile quando è compatibile con i bisogni delle future generazioni "non distruggendo o danneggiando i sistemi di supporto alla vita del nostro pianeta (aria, acqua, suolo e sistemi biologici), mantenendo un continuo flusso di beni e servizi derivati dalle risorse naturali e garantendo che i sistemi sociali assicurino un'equa distribuzione dei benefici a livello familiare, locale, nazionale, internazionale" (Bruce, 1992).

Di sviluppo sostenibile si incomincia a discutere agli inizi degli anni '70, con la Conferenza di Stoccolma sull'ambiente umano, organizzata dalle Nazioni Unite nel 1972, che portò all'elaborazione di un Piano d'Azione e a una dichiarazione sui diritti e le responsabilità dell'uomo in materia ambientale. Altro risultato di tale conferenza fu l'istituzione dell'UNEP (United Nations Environmental Programme),

programma avviato con il compito di promuovere iniziative per la tutela ambientale e di coordinare le politiche ambientali delle organizzazioni delle Nazioni Unite e dei vari governi.

Nel 1979 la questione ambientale è riproposta nella conferenza di Ginevra nella quale si è affrontato, in particolare, il problema del clima e che ha portato all'approvazione di un programma sull'inquinamento atmosferico, il World Climate Programme, mentre nel 1988 la Conferenza di Toronto portò alla sottoscrizione da parte di vari governi di impegni sulla riduzione delle emissioni di anidride carbonica e sul miglioramento dell'efficienza energetica.

Di grande rilevanza nel dibattito sullo sviluppo sostenibile è stata la Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 che ha portato all'istituzione della Commissione sullo Sviluppo Sostenibile e ha richiamato l'attenzione su temi quali l'equità intergenerazionale, i bisogni dei paesi più poveri, la cooperazione tra stati, la responsabilità civile e la compensazione dei danni ambientali, la valutazione di impatto ambientale. Tale Conferenza ha portato inoltre alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico e alla Convenzione sulla Diversità Biologica, alla nascita di Agenda 21, un piano di azione finalizzato alla promozione di uno sviluppo compatibile con l'ambiente. Le conclusioni raggiunte in tale conferenza rappresentano, dunque, le indicazioni degli obiettivi da perseguire nei prossimi anni. In materia di risorse idriche tali indicazioni sostengono l'idea di una gestione che limita il "consumo" delle risorse a disposizione e di una visione economica non solo sotto l'aspetto quantitativo ma anche qualitativo che persegue il "chi inquina paga".

Nel 1994 si è tenuta la prima Conferenza europea delle città sostenibili che ha portato alla Carta di Aalborg, ossia alla Carta delle Città Europee per lo Sviluppo Sostenibile, mentre nel 1996 dalla Conferenza di Lisbona parte l'impegno delle città ad attuare l'Agenda 21 a livello locale, riconoscendo le proprie responsabilità nella regolamentazione della vita sociale.

Nel 1997, viene firmato il protocollo di Kyoto che impegna i Paesi industrializzati e i Paesi con economia in transizione a ridurre le emissioni di gas in grado di alterare l'effetto serra del pianeta entro il 2010, mentre nel 2001 viene redatto il VI Programma d'Azione dell'Unione Europea a favore dell'ambiente, che ruota attorno a

quattro aspetti fondamentali: cambiamento climatico, ambiente e salute, natura e biodiversità, gestione delle risorse naturali.

Ultimo evento mondiale che ha ribadito e confermato la necessità di realizzazione degli obiettivi fissati a Rio de Janeiro e che ha definito i nuovi impegni politici da parte di tutti i Paesi nel cammino verso lo sviluppo sostenibile è stato il Vertice svoltosi nel 2002 a Johannesburg.

Il concetto di sviluppo sostenibile si traduce con non poche difficoltà in concreta applicazione, poiché richiede valutazioni e considerazioni sugli scenari futuri che non è dato conoscere con esattezza; è estremamente difficile, infatti, stabilire quali saranno le esigenze delle future generazioni, o valutare quanto una decisione presa oggi possa influire sulla possibilità per le future generazioni di godere degli stessi beni e di usufruire degli stessi diritti e privilegi.

Non è possibile dare una definizione univoca del concetto di sostenibilità; tuttavia è possibile affermare che la sostenibilità punta al miglioramento a lungo termine del benessere della società. Questo miglioramento nel tempo non può avvenire senza la gestione sostenibile dei sistemi idrici, sistemi che devono soddisfare, adesso e in futuro, il fabbisogno idrico della società e quello necessario per le diverse attività connesse con gli usi delle acque (Loucks, 1998).

Gli obiettivi delle politiche di sostenibilità, elaborate a scala globale, sono percepiti solo quando sono strettamente correlati a risultati misurabili sul campo.

Le ricerche in atto sulla sostenibilità rappresentano, pertanto, un punto di riferimento importante per lo sviluppo di ricerche settoriali, quale quello della gestione delle risorse idriche.

In tale prospettiva la ricerca nell'ambito tradizionale della gestione delle risorse idriche e, più in generale della ricerca ambientale, può ricevere nuovi impulsi dalla definizione di obiettivi di sostenibilità, così come le stesse ricerche della sostenibilità trovano sostegno nelle conoscenze consolidate in settori specifici.

Le ricorrenti crisi idriche e il deterioramento della qualità delle acque destinate al consumo umano, e non solo, usualmente trovano due livelli di analisi e di tentativi di risoluzione.

Un primo livello di approfondimento è legato ai grandi cambiamenti climatici e al globale non equilibrio della distribuzione della risorsa nel pianeta, che porta a

evidenziare la gestione delle risorse idriche tra le grandi emergenze planetarie.

Un secondo livello riguarda le possibili risposte su scala locale che le politiche regionali e le tecniche ingegneristiche riescono a fornire per avvicinare la domanda d'acqua alle disponibilità quali-quantitative delle risorse in un ambito delimitato.

Entrambi gli approcci al problema si trovano di fronte alla necessità di confrontare le soluzioni individuate con la possibilità concreta di realizzarle.

In sostanza, in termini ormai intuitivi, occorre perseguire soluzioni sostenibili.

Il concetto di sostenibilità e la sua esplicitazione è il legame che connota e, quindi, lega i due livelli di approfondimento del problema. Due livelli di approfondimento che oggi contano su due sistemi di riferimento differenti, su due sistemi di base di dati differenti, su due possibilità modellistiche matematiche differenti.

La sostenibilità sarà un concetto realisticamente percepito e utilizzabile quando i due livelli di approfondimento potranno contare su omogenei sistemi di riferimento, su identiche base di dati e su strutture modellistiche che riescono a dialogare alle diverse scale.

In tale direzione, la presente attività di ricerca, si è occupata dello studio e della modellizzazione della sostenibilità della gestione delle risorse idriche, con particolare riferimento alla possibilità di trasferire i concetti di sostenibilità nella pratica ingegneristica del settore idrico.

Da quando il concetto di sostenibilità è stato introdotto dal rapporto Bruntland (*WCED*, 1987), molte ricerche sono state intraprese per la definizione di modelli parametrici di indicatori per valutare in maniera semplice e adeguata specifici fenomeni alle diverse scale, insieme a rigorose metodologie per la creazione di indici sintetici di sostenibilità. La maggior parte di tali modelli misura la sostenibilità e individua gli obiettivi da perseguire, a una scala generale e globale di analisi, mentre sono pochi quelli che lo fanno a una scala regionale e locale.

La prima parte dell'attività di studio è stata dedicata alla definizione del concetto di sostenibilità e alla rassegna dei diversi modelli parametrici elaborati per la stima quantitativa della sostenibilità, insieme alla collaborazione al progetto EPSILON, un progetto di ricerca finanziato nell'ambito del 5° Programma Quadro della Commissione Europea. Tale progetto ha costituito un importante passo in avanti nello sviluppo di una metodologia in grado di misurare la sostenibilità a livello

regionale. Partendo, infatti, dalla definizione di un modello scientificamente basato su un sistema strutturato a livelli gerarchici di indicatori in grado di fornire una rappresentazione compiuta delle dimensioni della sostenibilità, il modello EPSILON permette di effettuare in maniera semplice e operativa analisi, simulazioni e confronti tra realtà differenti.

Prendendo spunto dall'attività di ricerca svolta nell'ambito del progetto EPSILON è stato elaborato un modello di tipo parametrico, denominato "S.G.R.I.", per la misura della sostenibilità della gestione delle risorse idriche. Tale modello prevede una struttura di indicatori, relativi ai sistemi naturali, ai sistemi infrastrutturali e agli aspetti economici connessi con l'uso delle acque, organizzati in temi e sotto-temi, in grado di misurare, attraverso il confronto tra diverse realtà, la sostenibilità della gestione dei sistemi idrici a scala locale di Ambito Territoriale Ottimale. Le prospettive più interessanti del modello proposto, sono legate alla prospettiva di utilizzare tale modello come uno strumento di supporto alle decisioni da parte dei gestori dei Sistemi Idrici Integrati e, quindi, come strumento di misura dell'efficacia delle politiche adottate in materia di sostenibilità, nonché quale strumento di ricerca per l'individuazione di strutture parametriche validate e riconoscibili dalle diverse organizzazioni istituzionali di programmazione.

I criteri di sostenibilità, implicano anche il soddisfacimento di obiettivi di ottimizzazione; la realizzazione del modello parametrico alla scala di Ambito Territoriale Ottimale ha, infatti, evidenziato diversi aspetti del sistema di gestione suscettibili di ottimizzazione. La seconda parte dell'attività di ricerca ha pertanto riguardato l'individuazione delle procedure di Ricerca Operativa utili nell'ambito dell'organizzazione e della gestione dei sistemi idrici. Tra i metodi analizzati è stato approfondito il Problema dei Trasporti con riferimento all'ottimizzazione della distribuzione della risorsa idrica sulla base del rapporto tra domanda e offerta di acqua potabile. Tale modello è stato elaborato per due diverse scale territoriali, uno a livello regionale e l'altro a scala di Ambito Territoriale Ottimale, per due corrispondenti livelli di approfondimento e ottimizzazione.

Le prospettive future di tale attività di ricerca, seppur suscettibile di ulteriori avanzamenti legati soprattutto alla reale disponibilità di dati di elevata qualità e affidabilità, riguardano l'elaborazione del modello ai diversi livelli di ottimizzazione

per costruire sistemi e procedure di supporto alla gestione sostenibile dei sistemi idrici.

CAPITOLO I

MODELLI PARAMETRICI PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ

1.1 RASSEGNA DEI MODELLI PARAMETRICI PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ

Come detto in precedenza, diversi enti e istituzioni sono oggi impegnati, a livello mondiale, nel tentativo di tradurre il concetto di sostenibilità in strutture e modelli da utilizzare come strumenti operativi per misurare la sostenibilità stessa.

Solo di recente gli sforzi sono stati indirizzati verso la definizione di modelli adatti a misurare l'efficacia delle politiche adottate in tema di sostenibilità, grazie soprattutto a una crescente tendenza a strutturare le strategie per lo sviluppo sostenibile in piani a lungo, medio e breve termine, corredati tutti da una serie di obiettivi misurabili, sia generali che specifici.

In tal senso si è registrata una proliferazione di modelli, più o meno strutturati, basati su indicatori in grado di fornire una rappresentazione più o meno completa della sostenibilità.

Nella strategia per lo sviluppo sostenibile, gli indicatori giocano il duplice ruolo di strumenti di misura della condizione ambientale, permettendo di stimare la distanza esistente tra lo stato effettivo e quello considerato "sostenibile", e di riferimento per l'avvio e lo sviluppo di nuovi modelli di gestione. Proprio l'individuazione di target o livelli di sostenibilità, soprattutto nel lungo periodo, rappresenta un ulteriore elemento di difficoltà nell'applicazione del concetto di sostenibilità.

Per tali motivi, la creazione di insiemi di indicatori di sostenibilità, capaci di orientare i processi decisionali e di effettuare costanti monitoraggi, è diventato uno dei compiti primari della ricerca in tema di sostenibilità. Molti enti e istituzioni sono, pertanto, attivamente impegnati nell'elaborazione di set di indicatori che rappresentino in maniera semplice e adeguata specifici fenomeni alle diverse scale,

insieme a rigorose metodologie per la creazione di indici sintetici di sostenibilità.

Per misurare in modo corretto la sostenibilità tali indicatori devono:

- fornire informazioni sul fenomeno in esame in modo sintetico, facilitandone la comprensione e quantificandone il maggiore o minore stato di gravità;
- supportare le attività e le politiche di risposta;
- permettere la valutazione degli effetti degli interventi effettuati e il monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno nel tempo.

L'opportuna scelta degli indicatori è legata alla loro capacità di rappresentare il fenomeno, all'accettabilità dal punto di vista scientifico, alla facilità di riproduzione delle misure, alla disponibilità del dato.

Gli indicatori possono essere usati per la valutazione d'impatto ambientale di progetti, per valutare e monitorare lo stato di sistemi ambientali, quali città o regioni, o di componenti ambientali come l'acqua e il suolo, per confrontare realtà e sistemi diversi, per valutare le azioni inerenti le politiche di sviluppo.

Per questi motivi gli indicatori devono presentare una giusta sensibilità in modo da evidenziare i cambiamenti che intervengono sul fenomeno, e devono essere facili da reperire e aggiornare, per cui è sempre preferibile fare riferimento a banche dati già esistenti.

Scelto il set di indicatori che meglio si adatta a descrivere il fenomeno, essi devono essere inseriti all'interno di un modello che permetta di effettuare valutazioni sulla sostenibilità del sistema.

Di seguito vengono descritti i principali modelli parametrici di sostenibilità basati su indicatori elaborati da enti e organismi internazionali, finalizzati alla stima delle performance dei diversi Paesi e alla misura dei progressi ottenuti verso lo sviluppo sostenibile (*Maiolo et al., 2006a*).

1.1.1 UNCSO

La Commissione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile (UNCSO) fu istituita dopo la Conferenza di Rio nel 1992 per seguire la realizzazione di Agenda 21. In tale Conferenza venne riconosciuto l'importante ruolo svolto dagli indicatori di sviluppo sostenibile quale supporto decisionale per i diversi Paesi. Questo

riconoscimento venne presentato e articolato nel capitolo 40 di Agenda 21 con il quale, nazioni, organizzazioni internazionali, governative e non, furono invitate a sviluppare e a individuare indicatori di sviluppo sostenibile atti a costituire una solida base di riferimento per le scelte decisionali a tutti i livelli. In Agenda 21, inoltre, venne proposto di armonizzare tutti gli sforzi e gli studi in atto, per sviluppare indicatori di sviluppo sostenibile a scala globale, nazionale e regionale, proponendo la creazione di un opportuno set di indicatori comuni, regolarmente aggiornato e facilmente accessibile (*UN-CSD*, 2001).

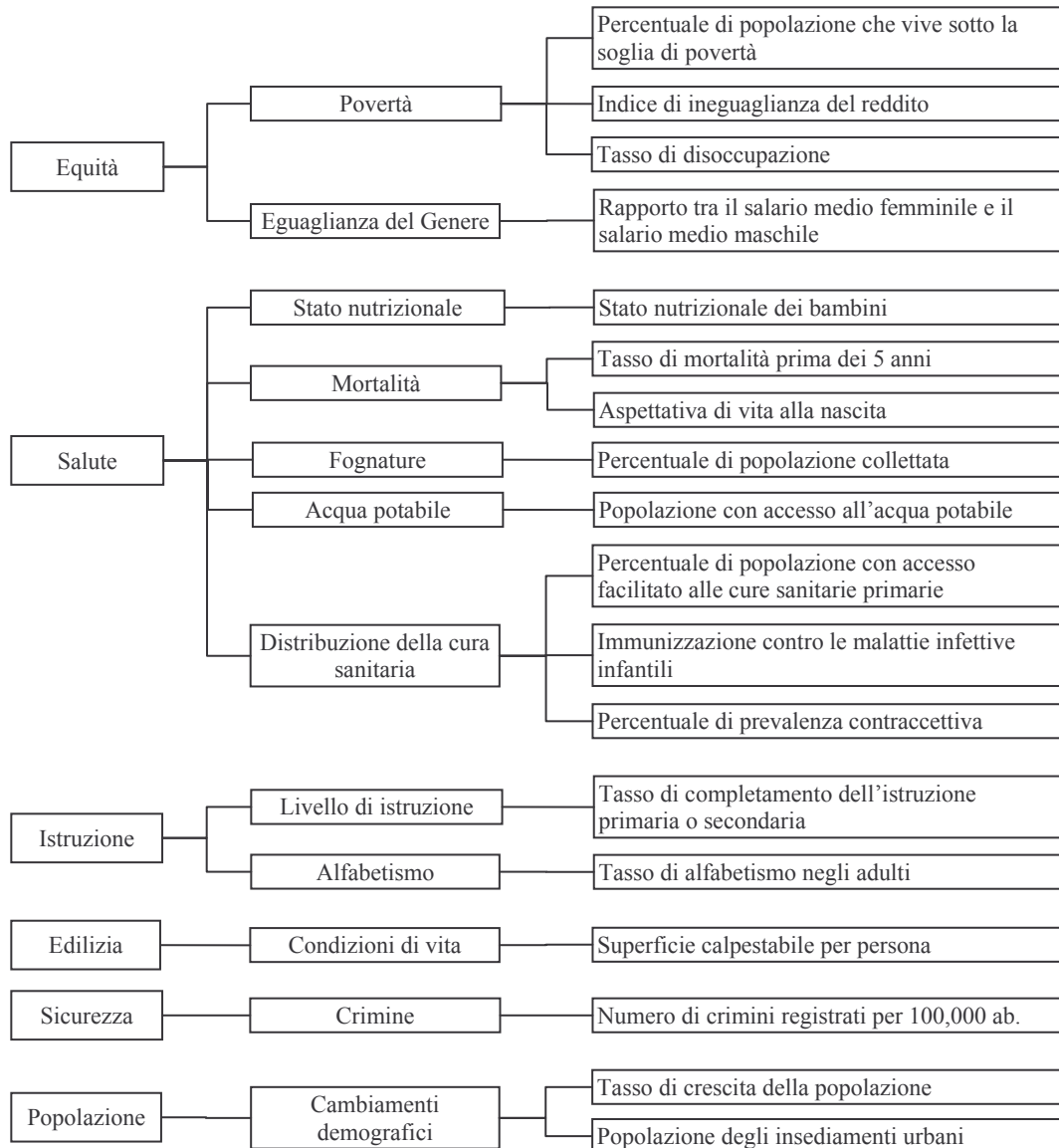
Sulla base delle risultanze della Conferenza di Rio, la Commissione sullo Sviluppo Sostenibile approvò nel 1995 un Programma di Lavoro sugli indicatori di sviluppo sostenibile che aveva tra gli obiettivi (*UN-CSD*, 2001):

- l'accrescimento dello scambio di informazioni sulle attività metodologiche e pratiche connesse con lo sviluppo sostenibile;
- lo sviluppo di criteri metodologici atti a valutare, per ciascun indicatore, la rilevanza politica, l'accertamento della disponibilità dei dati e delle fonti;
- la promozione, a livello regionale e nazionale, dell'utilizzo di indicatori per misurare i progressi verso lo sviluppo sostenibile;
- la verifica e il monitoraggio di appropriati set di indicatori in alcuni Paesi per accrescere l'esperienza, stimandone l'applicabilità e sviluppando ulteriormente gli indicatori di sviluppo sostenibile;
- la valutazione degli indicatori e delle relative correzioni necessarie;
- l'identificazione e l'accertamento dei legami tra gli elementi economici, sociali, istituzionali e ambientali dello sviluppo sostenibile;
- lo sviluppo di indicatori estremamente aggregati attraverso il coinvolgimento dei decisori insieme agli esperti delle discipline economiche, sociali e fisiche.

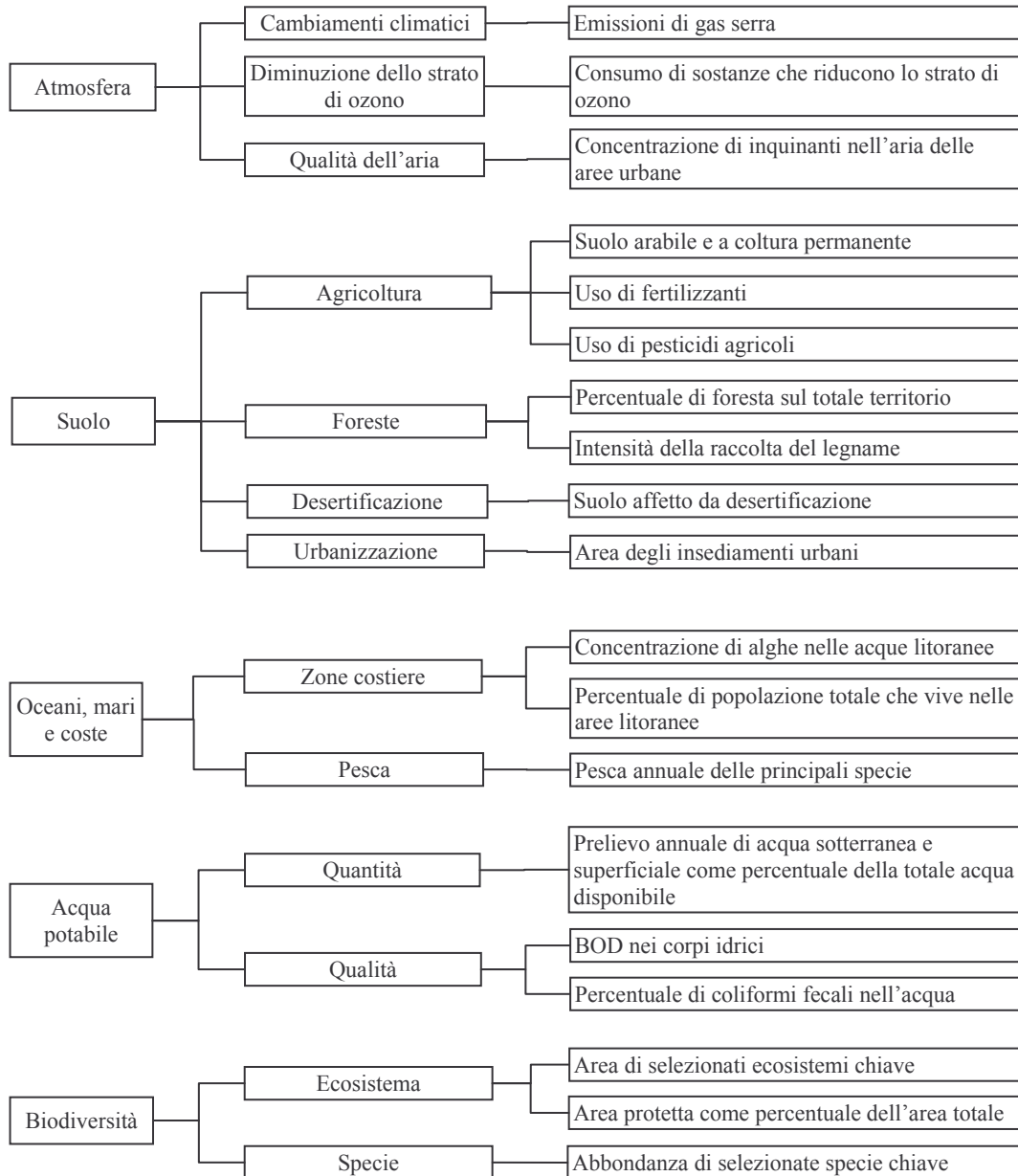
Nel 1996 l'UNCSD ha sviluppato la prima guida sulle metodologie e un modello di indicatori dello sviluppo sostenibile (*UN-CSD*, 1996). Questo modello, rivisto nel 2001, (*UN-CSD*, 2001) è diviso in temi e sotto-temi raggruppati in quattro pilastri: sociale, ambientale, economico e istituzionale, per un totale di 15 temi, 38 sotto-temi e 58 indicatori. Ogni sotto-tema è riferito a uno o più capitoli di Agenda 21. Nel pilastro sociale i temi politici sono: l'equità, la salute, l'istruzione, l'edilizia, la sicurezza, la popolazione. Il pilastro ambientale copre i temi: atmosfera, suolo,

oceani, mari e coste, acqua potabile, biodiversità. Il pilastro economico comprende: struttura economica, consumo, produzione. Il pilastro istituzionale è costruito sui temi legati alla struttura e alla capacità istituzionale.

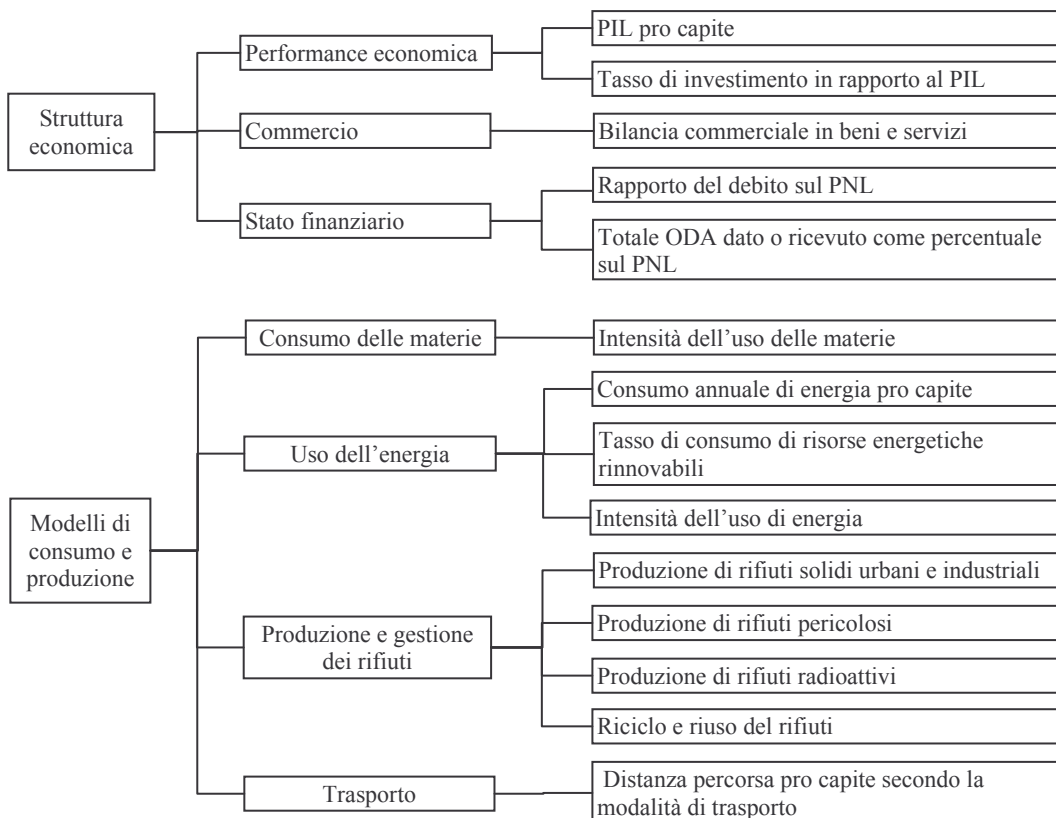
Pilastro Sociale



Pilastro Ambientale



Pilastro Economico



Pilastro Istituzionale



1.1.2 MDGs

Nel 2000 il Segretario Generale delle Nazioni Unite convocò il “Millennium Summit” per discutere le possibili strategie di azione per il prossimo secolo. Il risultato del Summit fu la “Millennium Declaration” discussa e adottata da 147 capi di Stato e di Governo e 189 Stati Membri.

La “Millennium Declaration” delineò gli obiettivi di sviluppo del Millennio, “Millennium Development Goals (MDGs)”, e i relativi traguardi che l’ONU avrebbe monitorato nel corso del secolo.

Gli obiettivi e i target accettati dai governi non erano nuovi, in quanto costruiti sulla base degli impegni precedentemente assunti e trasferiti in strumenti internazionali di natura legale e non, o negoziati in altre conferenze e riunioni. Le strategie per raggiungere gli obiettivi del Millennio sono rivolte verso lo sviluppo sostenibile e il buon governo.

La “Millennium Declaration” si basa su 8 obiettivi, 18 target e 48 indicatori. Gli obiettivi riguardano i quattro pilastri dello sviluppo sostenibile: eliminazione dell’estrema povertà e della fame, realizzazione dell’istruzione primaria, promozione dell’uguaglianza e conferimento di potere alle donne, riduzione della mortalità infantile, miglioramento delle condizioni di salute delle madri, combattere HIV/AIDS, la malaria e le altre malattie, assicurare una sostenibilità ambientale, sviluppare una partnership globale per lo sviluppo (UN, 2001).

✓ **Obiettivo 1: Eliminare la povertà estrema e la fame**

- ***Traguardo 1: Dimezzare, tra il 1990 e il 2015, la percentuale di persone il cui reddito è inferiore a 1 dollaro USA al giorno.***
 - Indicatore 1: Popolazione che vive con meno di 1 dollaro USA al giorno
 - Indicatore 2: Rapporto di divario di povertà
 - Indicatore 3: Quota del quantile più povero nel consumo nazionale

- ***Traguardo 2: Dimezzare, tra il 1990 e il 2015, le proporzioni di persone che soffrono la fame.***
 - Indicatore 4: Percentuale di bambini sottopeso sotto i cinque anni di età
 - Indicatore 5: Proporzione di popolazione sotto il livello minimo di consumo dell'energia dietetica

- ✓ **Obiettivo 2: Raggiungere l'istruzione primaria universale**

- ***Traguardo 3: Assicurare che, entro il 2015, in ogni luogo i bambini, i ragazzi e le ragazze, siano in grado di completare l'intero corso scolastico di istruzione primaria.***
 - Indicatore 6: Tasso dell'istruzione primaria
 - Indicatore 7: Percentuale di alunni che dalla prima classe giungono alla quinta
 - Indicatore 8: Percentuale di alfabetismo tra i 15-24 anni

- ✓ **Obiettivo 3: Promuovere l'uguaglianza di genere e conferire poteri alle donne**

- ***Traguardo 4: Eliminare la disuguaglianza di genere nell'istruzione primaria e secondaria, preferibilmente entro il 2005 e a ogni livello di istruzione non oltre il 2015.***
 - Indicatore 9: Rapporto tra numero di ragazze e di ragazzi iscritti all'istruzione primaria, secondaria e terziaria
 - Indicatore 10: Rapporto tra numero di ragazze e di ragazzi con abilità di lettura e scrittura tra i 15 e i 24 anni di età
 - Indicatore 11: Percentuale femminile di impiego retribuito non agricolo
 - Indicatore 12: Percentuale di seggi in parlamento occupati da donne

✓ **Obiettivo 4: Ridurre la mortalità infantile**

- *Traguardo 5: Ridurre di due terzi, tra il 1990 e il 2015, il tasso di mortalità infantile al di sotto dei 5 anni di età.*
 - Indicatore 13: Tasso di mortalità sotto i 5 anni di età
 - Indicatore 14: Tasso di mortalità infantile
 - Indicatore 15: Percentuale di bambini di 1 anno vaccinati contro il morbillo

✓ **Obiettivo 5: Migliorare la salute materna**

- *Traguardo 6: Ridurre di tre quarti, tra il 1990 e il 2015, il tasso di mortalità materna.*
 - Indicatore 16: Rapporto di mortalità materna
 - Indicatore 17: Percentuale di parti assistiti da personale sanitario qualificato

✓ **Obiettivo 6: Combattere HIV/AIDS, la malaria e le altre malattie**

- *Traguardo 7: Aver arrestato entro il 2015 la diffusione dell'HIV/AIDS e aver iniziato la fase di inversione del fenomeno.*
 - Indicatore 18: Diffusione dell'HIV tra le donne incinte di età compresa tra i 15 e i 24 anni
 - Indicatore 19: Percentuale di uso del preservativo
 - 19a – Utilizzo del preservativo nei rapporti sessuali ad alto rischio
 - 19b - Percentuale di popolazione tra i 15-24 anni con conoscenza corretta e comprensiva dell'HIV/AIDS
 - Indicatore 20: Tasso di frequenza scolastica degli orfani come percentuale dei non orfani dai 10 ai 14 anni

- ***Traguardo 8: aver arrestato entro il 2015 e iniziato la fase di inversione dell'incidenza della malaria e di altre importanti malattie.***
 - Indicatore 21: Diffusione e percentuale di mortalità causata dalla malaria
 - Indicatore 22: Proporzione di popolazione in aree a rischio malaria che usano misure di prevenzione e di trattamento della malaria
 - Indicatore 23: Diffusione e percentuale di mortalità causata dalla tubercolosi
 - Indicatore 24: Percentuale di casi di tubercolosi scoperte e guarite con il sistema DOTS

- ✓ **Obiettivo 7: Assicurare la sostenibilità ambientale**
 - ***Traguardo 9: Integrare i principi di sviluppo sostenibile nelle politiche dei paesi e nei programmi e arrestare la perdita di risorse ambientali.***
 - Indicatore 25: Percentuale di area coperta da foresta
 - Indicatore 26: Percentuale di area protetta per mantenere la diversità biologica delle aree superficiali
 - Indicatore 27: PIL per unità di uso di energia
 - Indicatore 28: Emissioni di biossido di carbonio pro capite e consumo di ozono CFCs
 - Indicatore 29: Percentuale di popolazione che usa combustibili solidi

 - ***Traguardo 10: Dimezzare entro il 2015 la percentuale di persone prive di accesso sostenibile all'acqua potabile.***
 - Indicatore 30: Percentuale di popolazione urbana e rurale con accesso sostenibile a una fonte d'acqua pulita
 - Indicatore 31: Percentuale di popolazione urbana e rurale con accesso a servizi igienico-sanitari migliorati

- **Traguardo 11: Avere raggiunto entro il 2020 un significativo miglioramento nelle vite di almeno 100 milioni dei quartieri poveri.**
 - Indicatore 32: Percentuale di famiglie con accesso a una occupazione sicura

- ✓ **Obiettivo 8: Sviluppare una partnership globale per lo sviluppo**

- **Traguardo 12: Sviluppare un sistema finanziario e commerciale aperto, disciplinato e non discriminante (compreso un impegno a un buon sistema di governo, sviluppo e riduzione della povertà – sia a livello nazionale che internazionale)**

- **Traguardo 13: Porre attenzione ai bisogni particolari dei più piccoli paesi sviluppati (comprese esportazioni libere da dazi doganali e tariffe, programmi di riduzione del debito e di cancellazione del debito ufficiale bilaterale, e assistenza ufficiale allo sviluppo più generosa per i paesi impegnati nella riduzione della povertà.**

- **Traguardo 14: Porre attenzione ai bisogni particolari dei paesi in via di sviluppo privi di sbocco sul mare e delle piccole isole (attraverso il Programma di Azione per uno sviluppo sostenibile dei piccoli stati isolani in via di sviluppo e la 22^a disposizione dell'Assemblea Generale)**

- **Traguardo 15: Affrontare il problema del debito dei paesi in via di sviluppo attraverso misure nazionali e internazionali al fine di rendere il debito sostenibile nel lungo periodo.**

Sviluppo Assistenza ufficiale

- Indicatore 33: Assistenza ufficiale allo sviluppo (ODA) netta, totale e destinata ai paesi meno sviluppati (LDCs), come percentuale di

OECD/ il reddito nazionale lordo di donatori del Comitato di Assistenza allo Sviluppo (DAC)

- Indicatore 34: Proporzione di totale bilaterale, settore-allocabile ODA dei donatori di OECD/DAC a servizi sociali e di base (istruzione di base, cura della salute primaria, nutrizione, acqua sicura ed igiene)
- Indicatore 35: Proporzione di ODA bilaterale di donatori di OECD/DAC
- Indicatore 36: Percentuale di ODA per il settore dei trasporti per i paesi senza sbocchi sul mare
- Indicatore 37: ODA ricevuta nelle piccole isole in via di sviluppo

Accesso del mercato

- Indicatore 38: Tasso di importazione totale dai paesi industrializzati
- Indicatore 39: Tariffe doganali medie imposte da paesi industrializzati su prodotti agricoli e tessili e di abbigliamento provenienti dai paesi in via di sviluppo
- Indicatore 40: Stima dell'aiuto agricolo per i paesi dell'OECD come percentuale del loro PIL
- Indicatore 41: Percentuale di assistenza ufficiale allo sviluppo per aiutare a costruire la capacità commerciale

Sostenibilità del Debito

- Indicatore 42: Numero totale di paesi che sono giunti all'HIPC e numero che è giunto al completamento di HIPC (cumulativo)
 - Indicatore 43: Sgravio del debito sotto l'iniziativa dell'HIPC
 - Indicatore 44: Servizio del debito come una percentuale di esportazioni di beni e servizi
- ***Traguardo 16: In cooperazione con paesi in via di sviluppo, sviluppare e attuare strategie per lavori onesti e produttivi per i giovani.***
 - Indicatore 45: Tasso di disoccupazione giovanile tra i 15 e i 24 anni, totale e per sesso

- **Traguardo 17: In cooperazione con le società farmaceutiche, fornire l'accesso a farmaci essenziali nei paesi in via di sviluppo.**
 - Indicatore 46: Popolazione con accesso ai farmaci essenziali economicamente sostenibili

- **Traguardo 18: In cooperazione con il settore privato, rendere disponibili i benefici della nuova tecnologia, specialmente le tecnologie dell'informazioni e delle comunicazioni.**
 - Indicatore 47: Linee del telefono e utenti di cellulari, ogni 100 individui
 - Indicatore 48: Computer personali in uso e utenti di internet, ogni 100 individui.

1.1.3 Human Development Index HDI

L'“Human Development Index” (HDI) è stato sviluppato nell'Human Development Report (HDR), proposto per la prima volta nel 1990 con l'obiettivo di porre i popoli al centro del processo di sviluppo in termini di confronto economico, politico e giuridico (Cenni et al., 2003).

L'approccio adottato nell'Human Development Report dall'UNDP (United Nations Development Programme) è, infatti, quello di "collocare le persone al centro dello sviluppo": alla base delle pubblicazioni vi è, quindi, la convinzione che la dimensione umana dello sviluppo sia stata trascurata nel passato a causa di un'eccessiva enfasi posta sulla crescita economica.

Il diverso approccio adottato dall'UNDP riflette una vecchia tensione che esiste all'interno delle organizzazioni internazionali tra coloro che concentrano primariamente la loro attenzione sulla crescita economica identificandola con lo sviluppo e coloro che si interessarono principalmente degli aspetti e delle conseguenze sociali dello sviluppo (Baldi, 1998).

Il rapporto sullo sviluppo umano (HDR) misura i progressi ottenuti rispetto agli obiettivi del Millennium Development Goals. Esso riguarda tre differenti campi dello sviluppo umano: quello sociale, quello economico e quello ambientale. Gli indicatori sono raggruppati in 7 temi chiamati “dimensioni”:

1. Monitoraggio dello sviluppo umano: allargare le possibilità di scelta per i popoli
2. Condurre una vita lunga e sana
3. Acquisire conoscenza
4. Avere accesso alle risorse necessarie per avere un adeguato standard di vita, mentre le si preservano per le generazioni future
5. Proteggere la sicurezza personale
6. Realizzare l'uguaglianza per tutti gli uomini e le donne
7. Strumenti del diritto umano e del lavoro

Alcuni degli indicatori sono aggregati in 4 indici di livello superiore: l'Indice di Sviluppo Umano (Human Development Index HDI), l'Indice di Sviluppo legato al Genere (Gender-related Development Index, GDI), la Misura del Rafforzamento del Genere (Gender Empowerment Measure, GEM) e l'Indice di Povertà Umana (Human Poverty Index. HPI).

L'Human Development Index (HDI) è costruito sulla base di tre indicatori a livello nazionale della speranza di vita, del grado di istruzione (istruzione degli adulti e iscrizioni alla scuola elementare-media-superiore), e della media del PIL pro capite (espresso in "dollari internazionali" vale a dire in termini di parità di potere d'acquisto- PPP\$). A ognuno di questi tre fattori è dato peso uguale per il calcolo dell'indice HDI. Il valore dell'HDI, compreso tra 0 e 1, indica quanto ciascun Paese si è avvicinato ai seguenti obiettivi:

- a) Speranza di vita 85 anni;
- b) Accesso all'istruzione per tutti;
- c) Livello decente di reddito.

Il valore teorico massimo dell'Indice ($HDI = 1$) significa che il Paese ha conseguito tutti gli obiettivi. Le misure utilizzate per ciascuna variabile sono:

- a. La longevità misurata attraverso la speranza di vita alla nascita
- b. Il livello di istruzione misurato da una media ponderata di alfabetizzazione degli adulti (due-terzi) e un il tasso di iscrizione alle scuole elementari-medie-superiori (un terzo)
- c. Il livello di vita misurato attraverso la parità di potere di acquisto espresso in dollari USA (PPP\$).

Per quanto riguarda, infine, gli altri indici, la distribuzione del progresso e la misura di gran parte delle privazioni ancora esistente è effettuata dall'Indice di Povertà Umana, le disuguaglianze nei risultati tra donne e uomini dall'Indice di Sviluppo del Genere, la misura dell'empowerment di genere, che rivela la possibilità per le donne di prendere parte attivamente alla vita economica e politica, dalla Misura del Rafforzamento del Genere (*UNDP*, 2003).

1.1.4 World Bank Four Capital Framework

Nel 1995 la Banca Mondiale ha pubblicato un modello per misurare la ricchezza delle nazioni, intendendo assumere con questa iniziativa un approccio olistico nel misurare la crescita nazionale, assumendo un quadro di riferimento basato sul capitale per la valutazione di progetti, iniziative e indicatori nazionali.

I progressi verso lo sviluppo sostenibile vengono misurati attraverso i cambiamenti nei differenti capitali: il capitale fisico, il capitale naturale, il capitale umano.

Il concetto di sostenibilità è molto più ampio e più operativo. La sostenibilità è definita come un'opportunità. L'opportunità è misurata in termini di capitale includendo il capitale fisico o prodotto, il capitale naturale, il capitale umano e il capitale sociale. Invece di concentrarsi sui bisogni, che sono difficili da misurare, questo approccio si concentra sulla crescita e sul mantenimento del capitale.

Lo sviluppo sostenibile è allora definito come un processo in cui le future generazioni ricevono tanto capitale pro-capite quanto, o più di quanto, ne riceve l'attuale generazione (*World Bank*, 1997).

Nel 1997 la Banca Mondiale ha riconosciuto l'importanza della società nel percorso verso lo sviluppo sostenibile e il modello è evoluto in un modello basato su quattro capitali, in cui il quarto capitale è proprio quello sociale.

Il "World Development Indicators" è l'elaborazione annuale dei dati sullo sviluppo sostenibile effettuata dalla Banca Mondiale e mostra in modo analitico e completo i progressi nel perseguire i Millennium Development Goals. Il WDI 2006 contiene più di 900 indicatori organizzati in più di 80 tabelle e raggruppati in 6 sezioni principali:

- prospettiva mondiale;
- persone;
- ambiente;
- economia;
- stati e mercati;
- collegamenti globali.

In particolare, gli indicatori presenti nella sezione ambiente sono:

- uso del suolo e deforestazione;
- aree protette e biodiversità;
- uso dell'acqua potabile;
- uso dell'energia;
- efficienza energetica;
- dipendenza ed emissioni;
- urbanizzazione;
- traffico;
- inquinamento dell'aria;
- impegno statale.

1.1.5 DPSIR

L'OECD (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) ha elaborato un modello definito come Pressione→ Stato→ Risposta (PSR) in cui gli indicatori di pressione (P) sono quei fattori, quali emissioni o produzione di sostanze tossiche, che determinano problemi ambientali, gli indicatori di stato (S) descrivono le condizioni quali-quantitative dell'ambiente, gli indicatori di risposta (R) rappresentano le politiche e le scelte adottate per prevenire e ridurre i problemi ambientali.

Questo modello è strutturato secondo una relazione logica circolare di causalità secondo la quale le pressioni alterano lo stato dell'ambiente e tale stato influenza le risposte da attuare per ottenere lo standard desiderato.

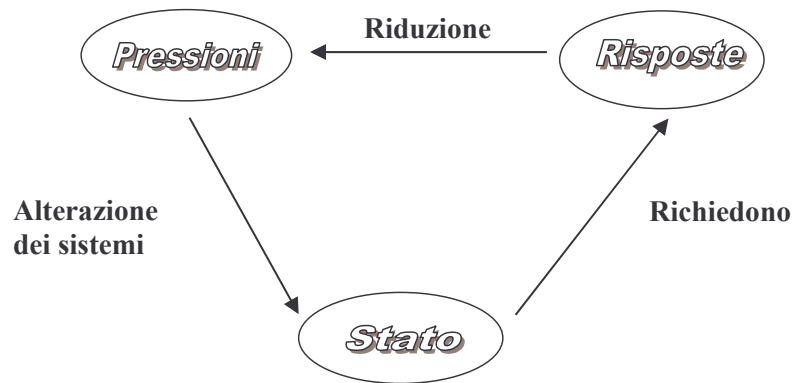


Figura 1.1 Modello PSR

L'Agenzia Europea per la Protezione dell'Ambiente (EEA) ha ampliato tale modello con l'introduzione di altri due elementi, realizzando il cosiddetto modello DPSIR (Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses). Le categorie di indicatori del modello DPSIR sono dunque (Jolliet et al., 2003):

- D:** determinanti o driving forces, che sono i fattori di fondo che influenzano le variabili (settori economici, attività umane);
- P:** indicatori di pressione rappresentanti le variabili che determinano i problemi ambientali (emissioni tossiche, emissioni di CO₂, rumore, rifiuti, ecc);
- S:** indicatori di stato che danno un quadro esatto della condizione attuale dell'ambiente (qualità fisiche, chimiche, biologiche);
- I:** indicatori di impatto atti a descrivere gli effetti dei cambiamenti di stato sugli ecosistemi, sulla salute, ecc.;
- R:** indicatori di risposta che mostrano le iniziative politiche, le attività e le decisioni intraprese per risolvere i problemi (leggi, prescrizioni, piani, ecc).

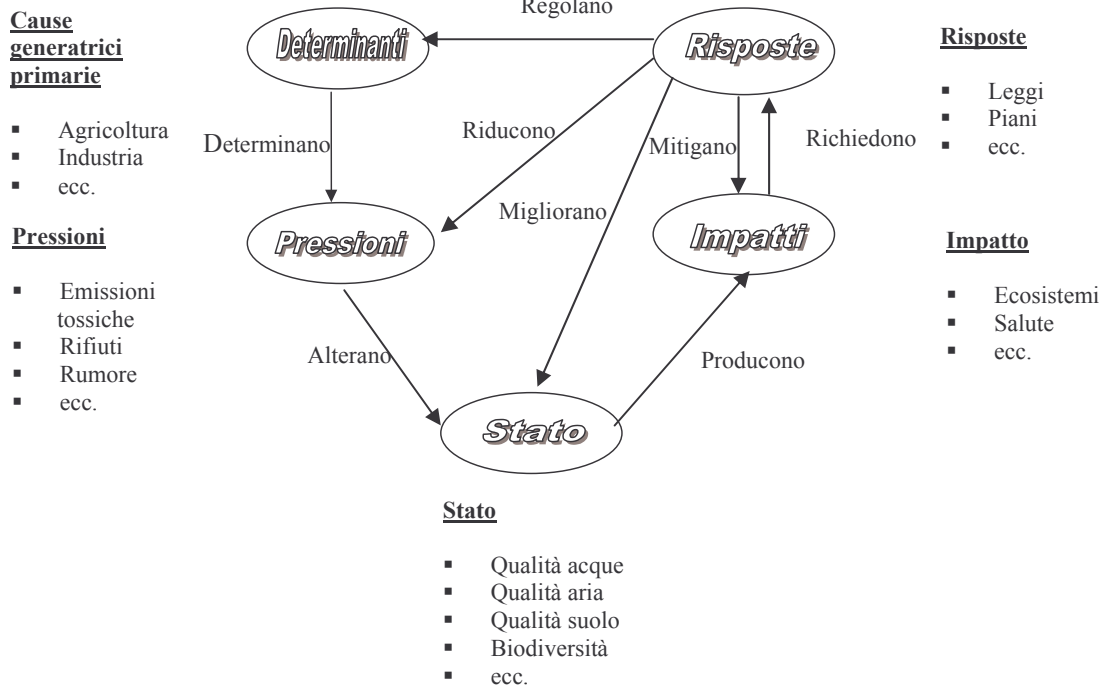


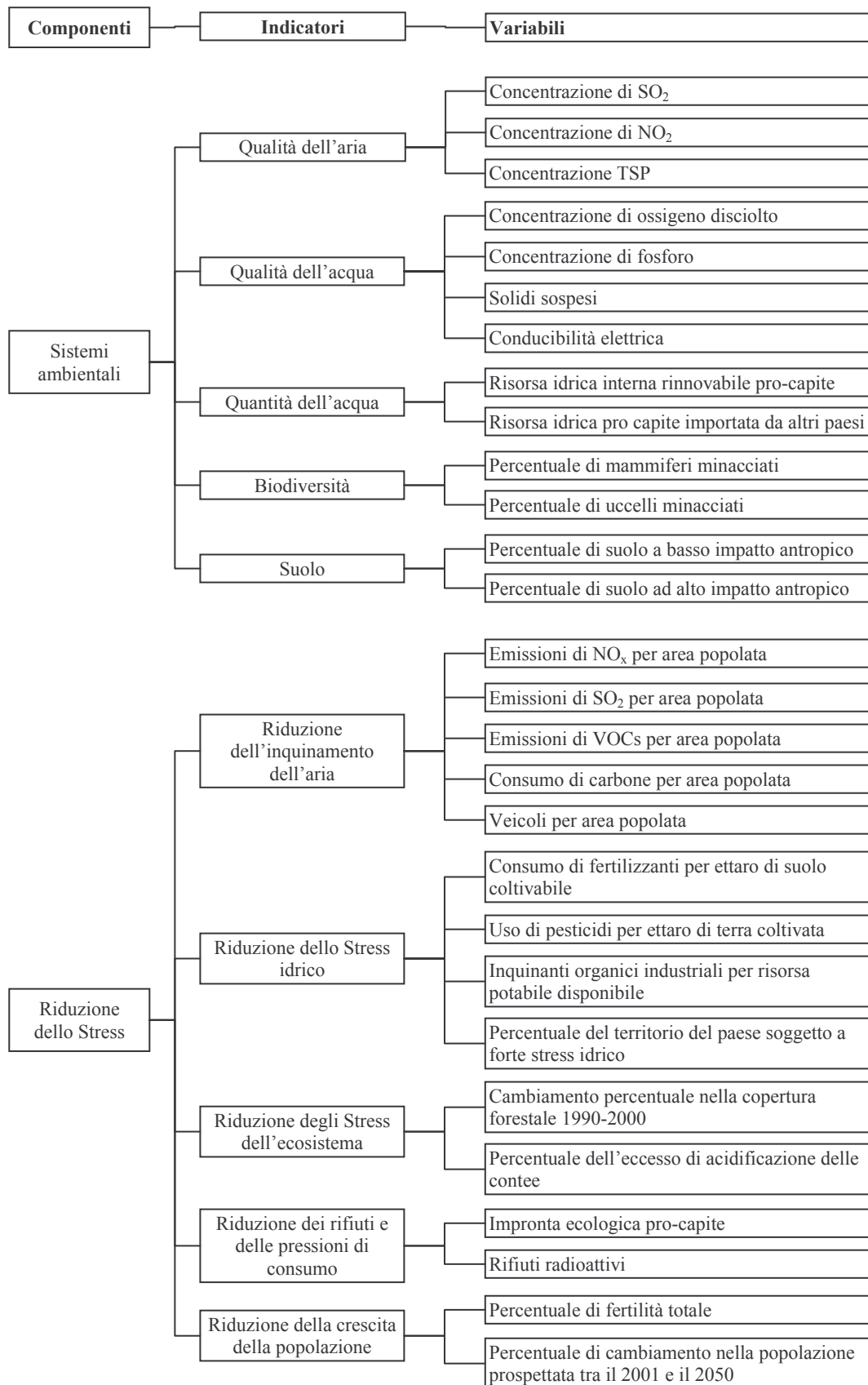
Figura 1.2 Modello DPSIR

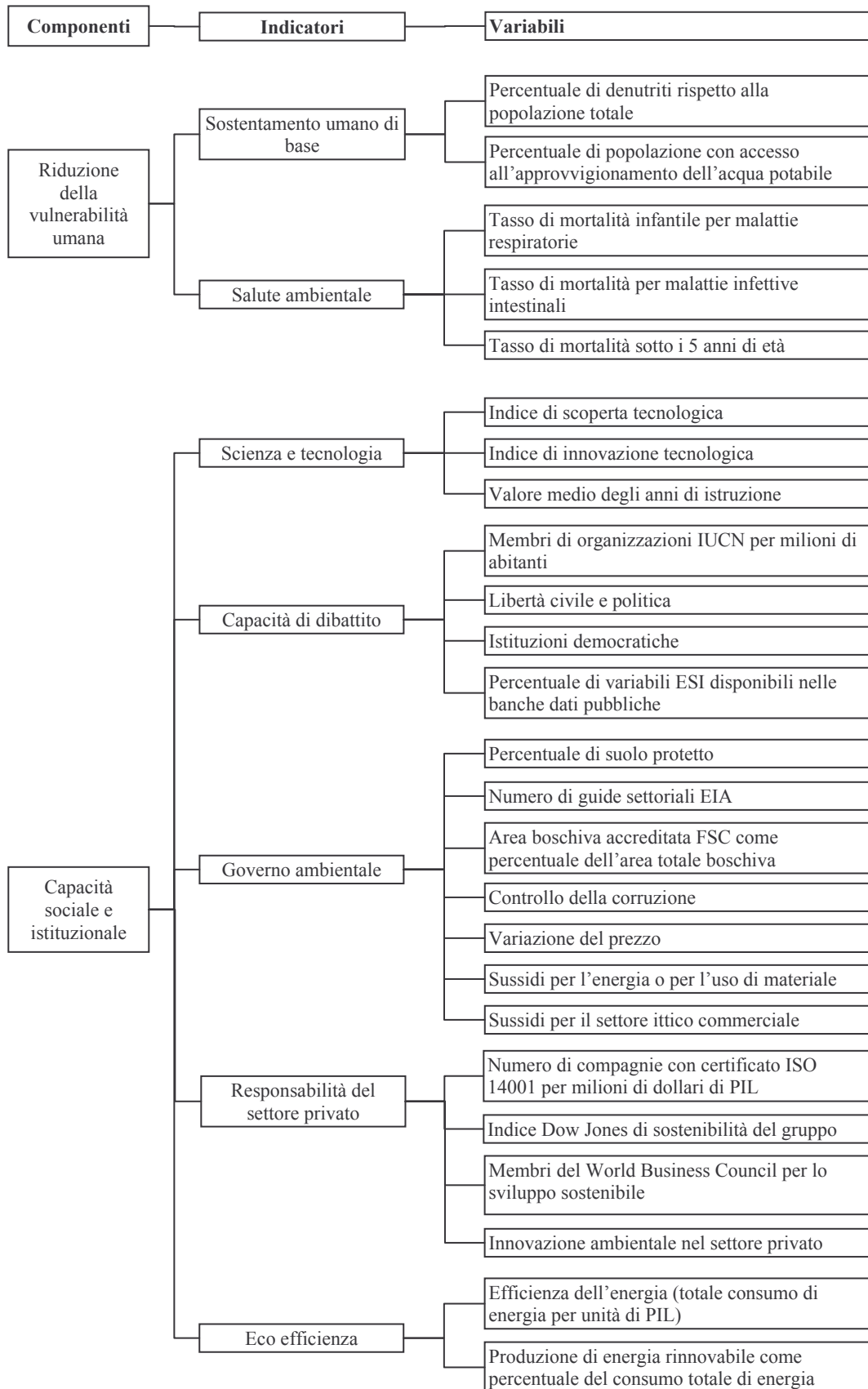
1.1.6 Environmental Sustainability Index ESI

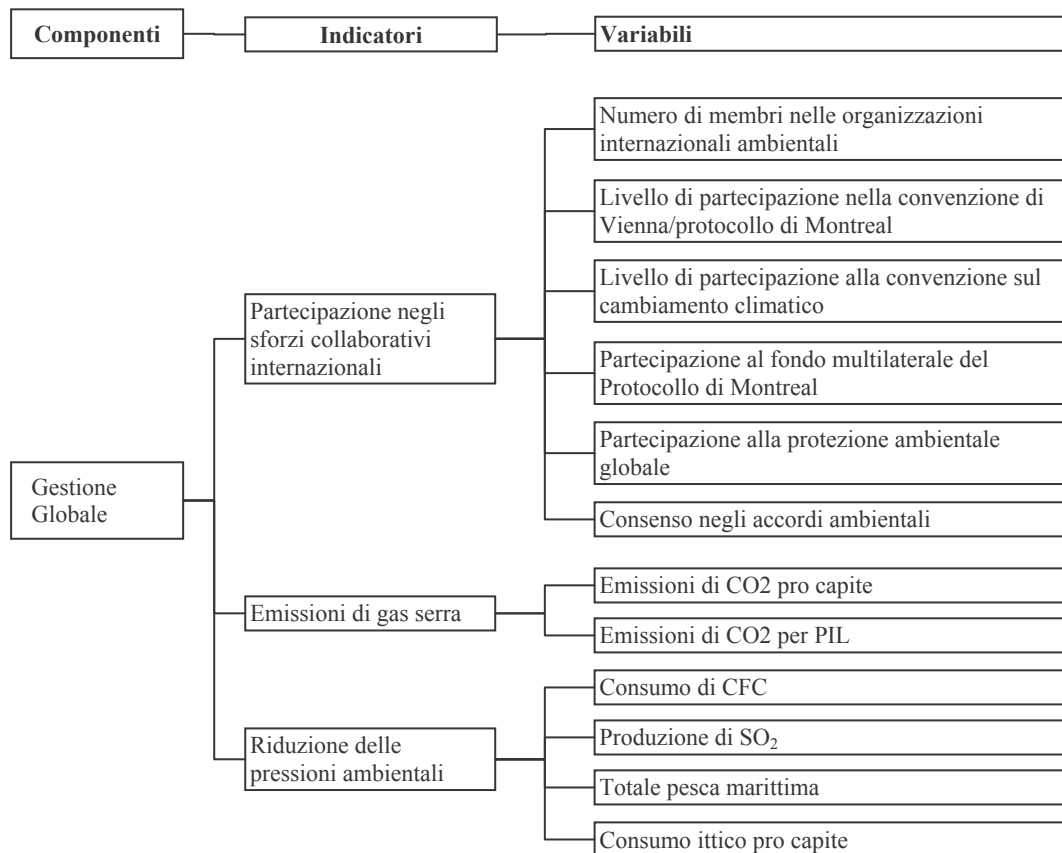
L'Environmental Sustainability Index (ESI) misura, attraverso un unico indice finale, il percorso verso la sostenibilità ambientale dei diversi Paesi. L'indice è organizzato in cinque diversi componenti (Cenni et al., 2003):

1. Sistemi Ambientali
2. Riduzione dello Stress
3. Riduzione della Vulnerabilità Umana
4. Capacità Sociale e Istituzionale
5. Gestione Globale

L'indice aggrega un totale di 20 indicatori misurati fra i menzionati cinque componenti. ESI è stato testato in 142 Paesi per due anni consecutivi. I componenti riflettono il modello pressione-stato-risposta (PSR) e l'idea che l'ambiente è sostenibile se mantiene il suo stato e la sua funzione nel sostenere l'ecosistema, la vita umana e le attività umane.





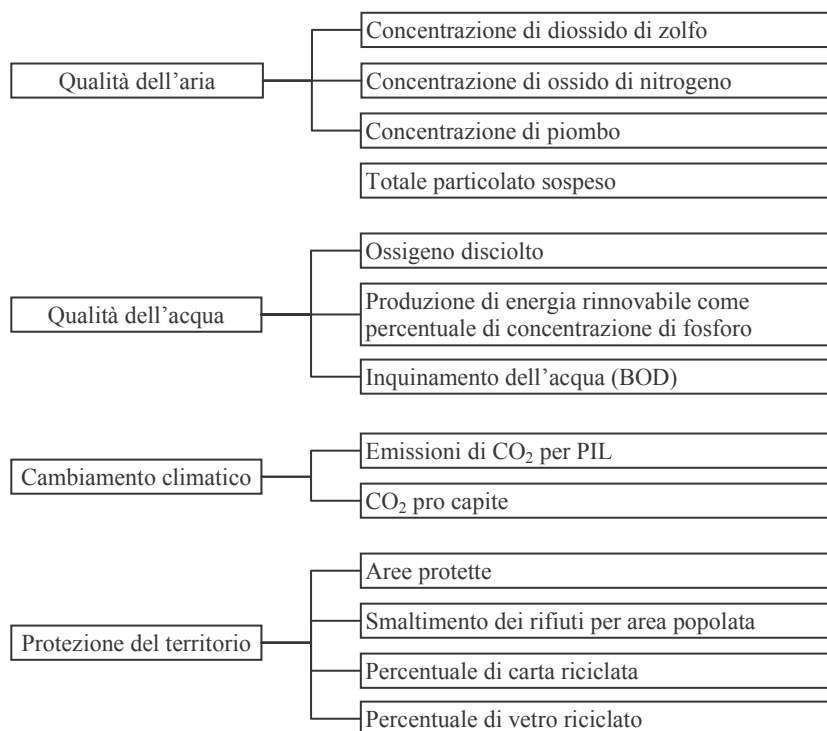


1.1.7 Environmental Performance Index EPI

Se l'ESI misura la capacità dell'ambiente di continuare a sostenere se stesso e le vite umane, l'Environmental Performance Index (EPI) misura lo stato dell'ambiente attraverso misure dirette del fenomeno che compromette la salute ambientale o ricorrendo a misure indirette quando questo non è possibile (Cenni *et al.*, 2003).

L'EPI è calcolato combinando 4 indicatori:

1. Qualità dell'aria
2. Qualità dell'acqua
3. Cambiamento climatico
4. Protezione del territorio



1.1.8 EPI2006

L'EPI (Environmental Performance Index), indice pilota per il 2006, è basato su una metodologia che tiene conto della prossimità all'obiettivo ed è fondata su di un insieme di indicatori ambientali connessi agli specifici obiettivi di tipo ambientale che ciascun governo dovrebbe perseguire.

Identificando obiettivi specifici e misurando quanto ciascun Paese si avvicina a essi, l'EPI fornisce una reale base per l'analisi delle politiche ambientali in un contesto scientificamente basato per meglio valutarne le prestazioni (*Esty et al.*, 2006).

Classifiche per singolo indicatore, così come classifiche per categorie, facilitano la comparazione tra singoli Paesi ovvero tra gruppi di Paesi omogenei per diversi fattori (PIL/pro capite, localizzazione, ecc.).

Il valore di un siffatto indice non risiede infatti nel suo valore assoluto globale, ma nella possibilità di stilare più classifiche per singoli indicatori o categorie. Mostrare i risultati per categoria, per gruppi o singole nazioni mette in risalto chi attua le migliori politiche rispetto ad altri e consente di identificare con facilità le priorità nelle azioni future (*UN*, 2000, 2001, 2005). Più sinteticamente, l'EPI fornisce uno

strumento potente per valutare sia gli investimenti in campo ambientale che i risultati delle politiche adottate a scala nazionale (IISD, 2002).

Essendo consapevoli dei limiti dell'indice basato su dati raccolti da innumerevoli fonti in tutto il mondo (Munda & Nardo, 2003), e definito pertanto come "pilota", i ricercatori del Yale Center for Environmental Law and Policy (Yale University) e del Center for International Earth Science Information Network (Columbia University) sperano di ricevere più contributi possibili dalla comunità scientifica internazionale per approfondire il dibattito circa la validità scientifica di indici di questo tipo, al fine di giungere alla migliore metodologia nella loro definizione, costruzione e utilizzo.

L'EPI, riconoscendo che la migliore valutazione relativa alle prestazioni in campo ambientale è il risultato sul campo, focalizza l'attenzione sui risultati misurabili che possono essere direttamente legati a obiettivi politici. Offre pertanto un indicatore composto dai risultati misurabili delle politiche correnti di protezione ambientale e, in linea di principio, aggiornabili nel tempo con periodicità.

L'indice è basato su 16 indicatori elementari, che permettono di valutare la salute dell'ambiente e la vitalità dell'ecosistema a tre livelli di aggregazione.

Per il primo livello gli indicatori sono aggregati (da due a cinque) in categorie di politica ambientale; esse sono: Salute Ambientale, Qualità dell'Aria, Risorse Idriche, Biodiversità e Habitat, Risorse Produttive Naturali, Energia Sostenibile. Questo livello di aggregazione permette alle nazioni di registrare le proprie prestazioni relative a ben definite linee di intervento.

Per il secondo livello si aggregano le categorie secondo due gruppi di obiettivi: Salute Ambientale (comprende un'unica categoria, con lo stesso nome) e Vitalità dell'Ecosistema (comprende le ultime cinque categorie già menzionate).

Al terzo livello si calcola l'EPI come semplice media dei due gruppi di obiettivi.

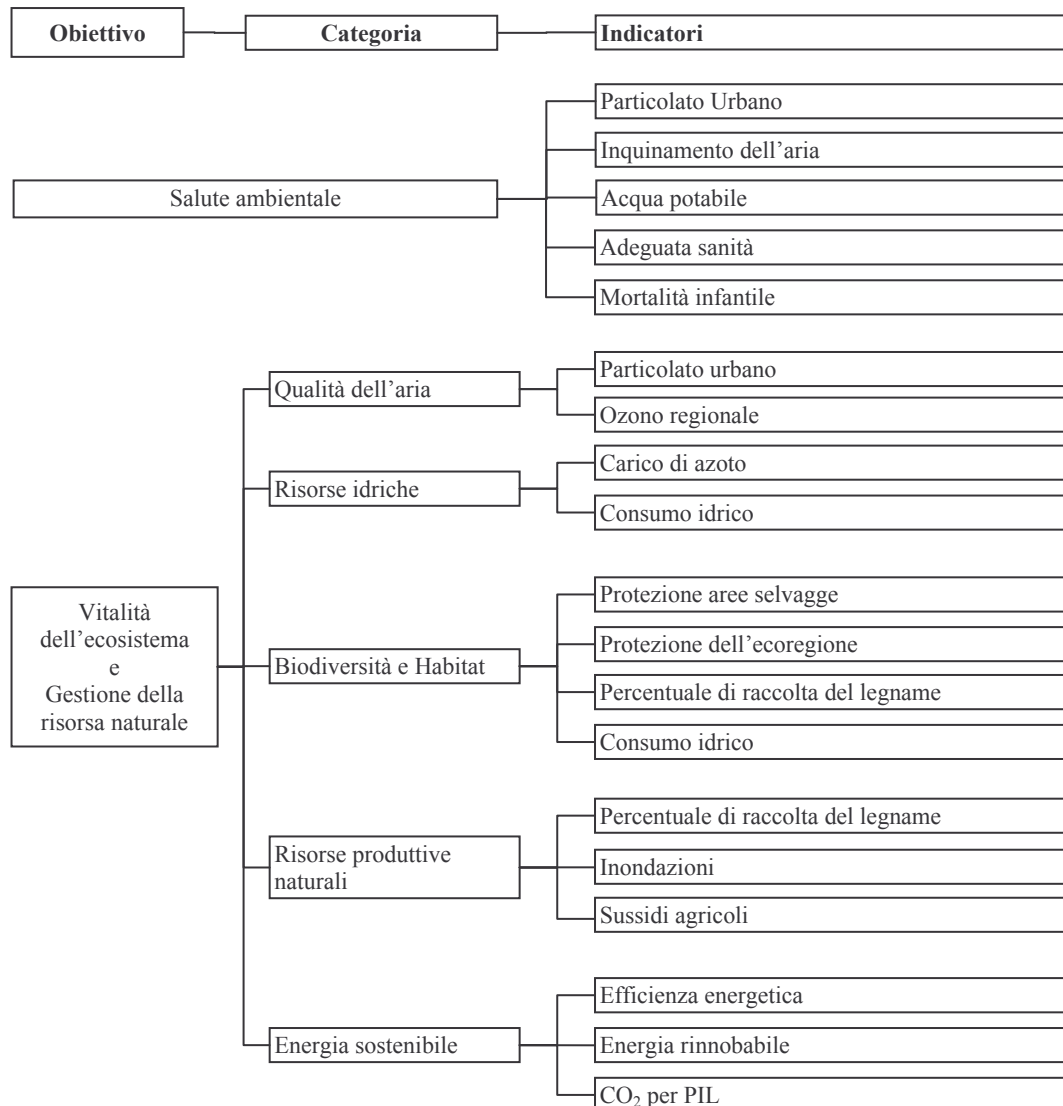
Per quanto riguarda la struttura dell'EPI, per rendere i 16 indicatori comparabili tra loro, ciascuno di essi è stato convertito in una misura di vicinanza all'obiettivo specifico con un intervallo di valori da 0 a 100.

Per evitare che i valori estremi inficiassero la qualità complessiva dei dati, i valori minimi sono stati trattati in modo adeguato mediante la tecnica statistica detta winsorization (posti uguali al valore relativo alla nazione del 5° percentile). Allo stesso modo, nel caso di prestazioni superiori all'obiettivo, i valori sono stati riportati

uguali a quest'ultimo. Successivamente i valori degli indicatori sono stati trasformati per essere distribuiti in una scala da 0 a 100, dove 100 è il valore obiettivo e 0 il peggiore valore osservato. Le modalità di raggruppamento degli indicatori e i pesi da assegnare a ciascun indicatore sono stati individuati mediante la tecnica del tipo PCA (Principal Component Analysis). Per tre categorie è stato possibile raggruppare gli indicatori e individuare i pesi, mentre per le altre i raggruppamenti derivano dall'analisi della letteratura scientifica specifica e dalle consultazioni con esperti. Per tale motivo sono stati adottati pesi uguali (Segnestan, 2002).

L'analisi di sensitività condotta dal JRC (Joint Research Center) della Commissione Europea mostra come i risultati dell'EPI possano variare qualora si adottino altre ipotesi metodologiche. Tale analisi di sensitività consente di affermare come altre ipotesi, riguardo alla scelta degli indicatori, alla metodologia di aggregazione e al peso da attribuire agli indicatori e alle categorie, potrebbero cambiare la classifica. Del resto, tali differenze sono modeste a eccezione di pochi casi (Saisana & Tarantola, 2002; Saisana et al., 2005).

In definitiva, è innegabile la robustezza del metodo e i valori calcolati e le classificazioni effettuate mediante l'EPI, forniscono un quadro indicativo delle nazioni che stanno mettendo in atto politiche efficaci in risposta alle esigenze di protezione ambientale.



1.1.9 Living Planet Index LPI

Il “Living Planet Index” è un indicatore dello stato della biodiversità mondiale che misura i trend nelle popolazioni di specie selvatiche, marine e di acqua dolce. L'indice della popolazione della specie selvatica è una misura dei trend nella popolazione di 282 uccelli, mammiferi e rettili che vivono in tutto il mondo negli ecosistemi forestali. L'indice della specie di acqua dolce comprende popolazioni di 195 specie di uccelli, mammiferi, rettili, anfibi e pesci da laghi, fiumi, ed ecosistemi delle zone umide. L'indice marino include 217 tra uccelli, mammiferi, rettili, e specie di pesci trovati negli ecosistemi marini e litoranei (WWF, 2002).

Il “World3 computer model” è stato sviluppato per esplorare quello che può accadere quando gli effetti umani eccedono la capacità globale. World3 simula i trend usando 350 variabili che descrivono il sistema globale e incorpora relazioni tra ecosistemi, popolazione e crescita economica. Per semplificare il confronto tra il modello e gli scenari di riferimento i risultati vengono riassunti in due indicatori: human ecological footprint (HEF) e un indice di welfare umano (HWI). Il modello HEF è un'approssimazione dell'impronta ecologica basata su tre componenti: terreno agricolo, terreno urbano-industriale, terreno di assorbimento di CO₂. Il modello HWI è un'approssimazione dell'indice di sviluppo umano dell'ONU, basato su tre misure di sviluppo: aspettativa di vita media, livello dell'istruzione e produzione mondiale (WWF, 2002).

1.1.10 Ecological Footprint

L'impronta ecologica misura il livello di consumo pro capite confrontato con la capacità di carico dell'ambiente. Essa è basata su una misura del consumo e su una misura della capacità di carico biologico. Misura la superficie corrispondente al terreno produttivo e agli ecosistemi acquatici richiesti per produrre le risorse usate, e per assimilare i rifiuti, prodotti da una definita popolazione, a uno specifico standard di vita. I suoi calcoli sono basati sul concetto di capacità di carico che è la massima percentuale di utilizzazione della risorsa e di produzione di rifiuti che possono essere sostenute indefinitamente senza danneggiare progressivamente la produttività e l'integrità funzionale dei relativi ecosistemi.

Per calcolarla viene valutata la necessaria area pro capite per la produzione di ogni fattore di maggiore consumo (dividendo il consumo medio annuale dell'elemento considerato per la sua produttività media annua). Una volta misurata, l'impronta ecologica totale pro capite è calcolata aggiungendo, al paniere annuale dei beni di consumo e dei servizi, tutte le aree dell'ecosistema pertinenti ai singoli aspetti considerati (UNCSD, 2001).

1.1.11 Dashboard

Lo strumento Dashboard, sviluppato da un gruppo di esperti di programmazione di indicatori, il CGSDI "Consultative Group su Sustainable Development Indices", è

stato il primo esempio di metodo di individuazione e uso massiccio degli indicatori (IISD, 2002). Coloro i quali sono stati delegati ad assumere decisioni importanti, come sono tutte quelle di tipo ambientale in senso lato, hanno bisogno di strumenti potenti per comprendere gli effetti delle politiche che mostreranno le relative ricadute nei decenni successivi. Allo stato attuale sono correntemente utilizzati a livello decisionale (nazionale o a scala locale) solo un numero ridotto di indicatori, solitamente i tassi di crescita, la disoccupazione e l'inflazione. La complessità del processo decisionale nel XXI secolo richiede strumenti di sostegno alle decisioni sicuramente più adeguati.

Il Dashboard presenta un insieme di indicatori in una "torta" basata su tre principi:

1. la dimensione di un settore circolare riflette l'importanza relativa dell'argomento descritto dall'indicatore
2. un codice colorato segnala le prestazioni rispetto ad altri: i settori verdi indicano buone prestazioni, quelli rossi cattive prestazioni
3. il cerchio centrale (PPI, Policy Performance Index) riassume le informazioni.

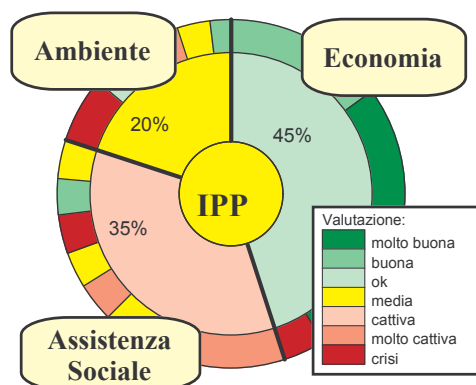


Figura 1.3 Dashboard

1.1.12 Sustainable Development Indicators SDI

Gli SDI (Sustainable Development Indicators) sono funzionali alla SDS (Sustainable Development Strategy) dell'Unione Europea, nell'ambito della quale la Commissione Europea ha istituito un Gruppo di Lavoro che ha il compito di armonizzare tutto il materiale raccolto da svariati Istituti ed Enti dell'Unione Europea

e di altre Organizzazioni. In quest'ottica di armonizzazione e razionalizzazione è stato fatto largo uso delle iniziative relative alla individuazione, gestione e utilizzo di indicatori come quelle della CSD (United Nations – Commission for Sustainable Development), degli Indicatori Strutturali della Unione Europea, del “core set” di indicatori della EEA (European Environmental Agency).

Sono stati così individuati dieci temi (di cui 5 corrispondenti alla Dichiarazione del Millennio), alcuni multisettoriali, che coprono i diversi aspetti della sfida della protezione ambientale in un'ottica di sviluppo sostenibile:

1. Sviluppo economico
2. Povertà ed esclusione sociale
3. Invecchiamento della popolazione
4. Salute pubblica
5. Cambiamenti climatici ed energia
6. Modelli di produzione e consumo
7. Gestione delle risorse naturali
8. Trasporto
9. Buon governo
10. Partenariati transnazionali

La natura multidimensionale dello sviluppo sostenibile rende necessario un grande numero di indicatori. Per facilitare la comprensione degli SDI, l'insieme degli indicatori è costruito come una piramide a tre livelli. Differenti livelli possono essere utilizzati per incontrare le necessità di categorie differenti di utenti.

Il primo livello consiste in un insieme di 12 indicatori di alto livello che permettono un approccio a larga scala del problema. Questi indicatori sono utili a livello politico e accessibili dal pubblico in genere; possono pertanto essere visti come indicatori caratteristici di un intero tema.

Il secondo livello corrisponde ai sottotemi e, insieme con gli indicatori di primo livello, misura il progresso verso il raggiungimento degli obiettivi prefissati; sono 45 indicatori utili per la valutazione di singole aree all'interno di un tema.

Il terzo livello facilita una visione più approfondita del tema cui afferiscono. Sono 98 indicatori che mostrano meglio le tendenze e la complessità del tema a cui sono associati. Sono utilizzati da un pubblico selezionato di specialisti.

L'individuazione degli indicatori, secondo le metodologie seguite dalle istituzioni richiamate, è ovviamente aperta a future e periodiche revisioni e integrazioni; i criteri utilizzati per la loro selezione sono i seguenti:

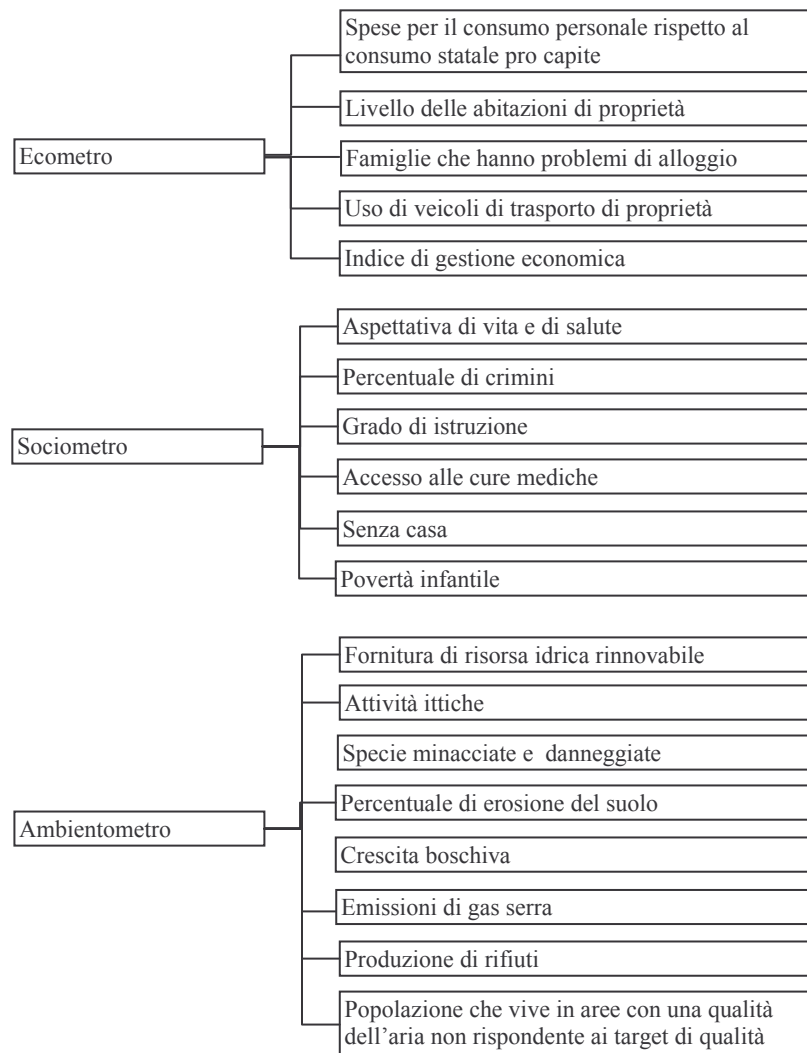
- un indicatore deve centrare l'essenza del problema e avere una chiara e riconosciuta interpretazione normativa;
- un indicatore deve essere robusto e validato statisticamente;
- un indicatore deve rispondere agli indirizzi politici ma non essere soggetto a manipolazioni;
- un indicatore deve essere misurabile in modo comparabile con gli standard internazionali;
- un indicatore deve essere misurabile nel tempo e suscettibile di revisione;
- la misura di un indicatore non deve imporre agli stati, alle imprese, ai cittadini un onere sproporzionato ai benefici della sua raccolta;
- l'insieme degli indicatori deve essere comprensibile e il più possibile accessibile ai cittadini dell'Unione Europea.

L'insieme di indicatori individuato, composto da 12 temi, 45 sottotemi e 98 indicatori analitici, forma una buona base per un regolare aggiornamento del progresso verso gli obiettivi della Strategia di Sviluppo Sostenibile dell'Unione Europea (COM, 2005a, 2005b; CPS, 2005; SEC, 2005). Gli indicatori non subiscono un processo di elaborazione e di aggregazione, poiché la loro funzione è quella di misurare l'efficacia delle politiche di tutela ambientale in diversi settori. Essi possono comunque essere organizzati secondo i canoni del modello DPSIR (Driving force, Pressure, State, Impact, Response) già diffusamente utilizzato.

1.1.13 US-IWG-SDI

L'US Intergovernmental Working Group sullo Sviluppo Sostenibile (Stati Uniti-IWG-SDI) ha elaborato un modello e degli indicatori per lo sviluppo sostenibile (SDI) per gli Stati Uniti (Cenni *et al.*, 2003).

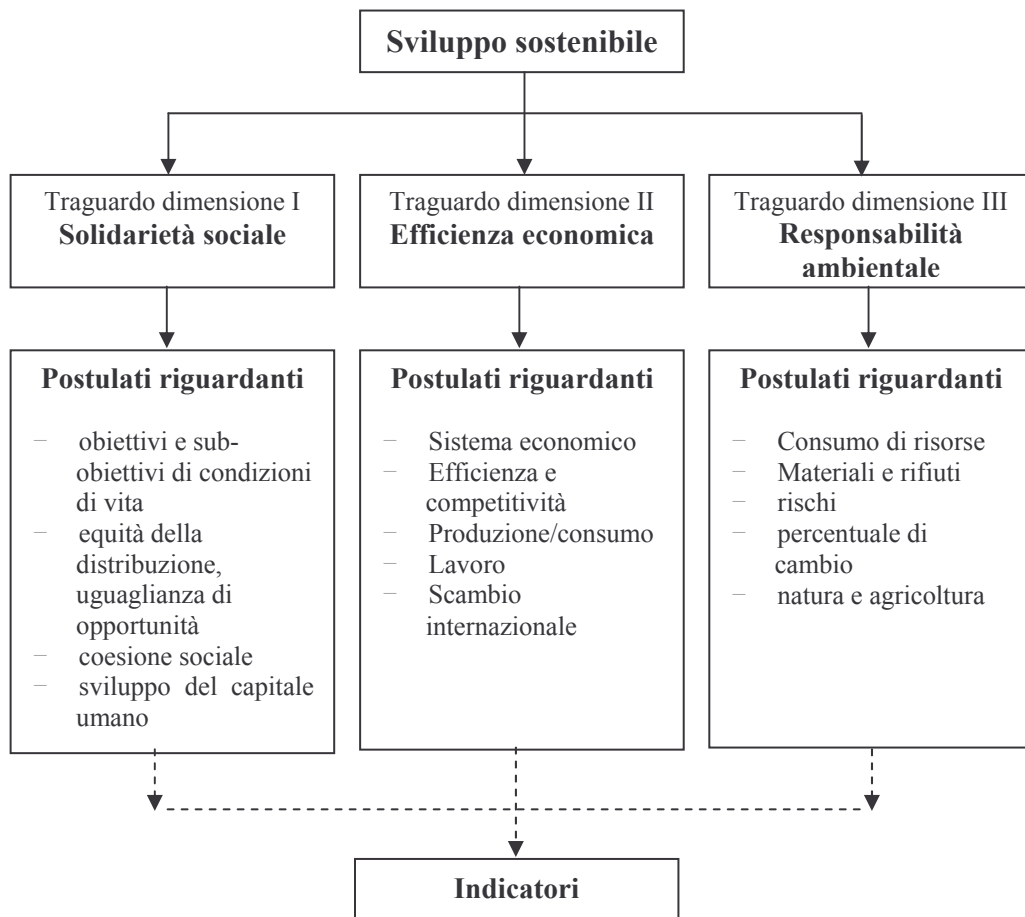
Gli indicatori selezionati sono rappresentati in un "cruscotto" della sostenibilità fatto da un "Ecometro", un "Sociometro" e un "Ambientometro".



1.1.14 Monet

MONET è un progetto svizzero realizzato congiuntamente dall'Ufficio Statistico Federale Svizzero (SFSO), dall'Agenzia Svizzera per l'Ambiente, le Foreste & il Paesaggio (SAEFL) e dall'Ufficio Federale Svizzero per lo Sviluppo Territoriale (ARE), che punta a sviluppare un sistema di monitoraggio per la strategia svizzera dello sviluppo sostenibile. La strategia, e alcuni degli indicatori scelti, sono coerenti con gli orientamenti dell'OECD (Organizzazione per la Co-operazione e lo Sviluppo Economico). Allo stato attuale, è stato strutturato un elenco di più di 100 indicatori e un nuovo modello, diverso per gli indicatori ambientali e per quelli socio-economici. Il sistema è costruito su un core set di indicatori utili per confrontare la posizione

della Svizzera rispetto agli altri Paesi (Monet, 2001).



1.1.15 Policy Performance Index PPI

Il Policy Performance Index (PPI) è un'iniziativa dell'UE sviluppata da EUROSTAT e dal Centro di Ricerca Comune della CE.

L'obiettivo finale dell'iniziativa, che interagisce a stretto contatto con il progetto "Dashboard" dell'IISD-based Consultative Group on Sustainable Development Indices (CGSDI), è sostituire gli attuali indicatori (come il PIL, l'inflazione e il tasso di disoccupazione) con un "Policy Performance Index" composto da tre sotto-indici di natura ambientale, sociale ed economica. Il sotto-indice ambientale è caratterizzato attraverso i seguenti dieci indici di pressione ambientale:

1. Inquinamento dell'aria
2. Cambiamenti climatici
3. Perdita di biodiversità

4. Ambiente marino e zone litoranee
5. Diminuzione dello strato di ozono
6. Esaurimento delle risorse
7. Dispersione di sostanze tossiche
8. Problemi ambientali urbani
9. Rifiuti
10. Inquinamento dell'acqua

Ciascuno di questi dieci campi è descritto da sei indicatori di pressione e gli indici sono una aggregazione di questi indicatori (UNCSO, 2001).

Inquinamento atmosferico	Emissioni di ossidi di azoto (NO _x)	Emissioni di composti organici volatili	Emissioni di anidride solforosa (SO ₂)	Emissioni di particolato	Consumo di benzina & gasolio dei veicoli stradali	Produzione di energia
Cambiamento di Clima	Emissioni di anidride carbonica (CO ₂)	Emissioni di metano (CH ₄)	Emissioni di protossido d'azoto (N ₂ O)	Emissioni di clorofluorocarboni (CFC)	Emissioni di ossidi di azoto (NO _x)	Emissioni di ossidi di zolfo (SO _x)
Perdita di Biodiversità	Perdita di aree protette, danni e frammentazione	Perdita di zone umide (wetlands)	Intensità dell'agricoltura	Frammentazione di foreste & di paesaggi da strade/da intersezioni	Sgombro di aree boschive naturali	Cambiamento di pratiche agricoltura tradizionale
Ambiente Marino & Zone Costiere	Eutrofizzazione	Pressione della pesca	Sviluppo lungo la riva	Scarichi di metalli pesanti	Inquinamento da petrolio sulla costa & in mare	Scarichi di composti organici alogenati
Svuotamento di Strato di Ozono	Emissioni di bromofluorocarboni (aloni)	Emissioni di clorofluorocarboni (CFC)	Emissioni di idroclorofluorocarboni (HCFC)	Emissioni di anidride carbonica (CO ₂)	Emissioni di ossidi di azoto (NO _x)	Emissioni di carboni clorurati
Uso eccessivo delle Risorse	Consumo idrico pro capite	Utilizzo di energia pro capite	Aumento di territorio occupato in modo perm.	Equilibrio nutriente del terreno	Produzione di elettricità da combustibili fossili	Equilibrio di legname (nuova crescita/raccolto)
Dispersione di Sostanze Tossiche	Consumo di pesticidi da agricoltura	Emissioni di sostanze inquinanti organiche persistenti	Consumo di prodotti chimici tossici	Emissioni di metalli pesanti in acqua	Emissioni di metalli pesanti in aria	Emissioni di materiale radioattivo
Problemi Ambientali Urbani	Consumo di energia	Rifiuti urbani non riciclati	Acqua di scarico non trattata	Quota di trasporto privato in automobile	Popolazione minacciata da rumore	Utilizzazione delle terre (cambiamento da spazio naturale a quello edificato)
Rifiuti	Rifiuti trasferiti in una discarica	Rifiuti inceneriti	Rifiuti pericolosi	Rifiuti urbani	Rifiuti per prodotto durante ciclo di vita	Rifiuti riciclati/materiale recuperato
Inquinamento delle Acque & Risorse Idriche	Utilizzo nutriente (azoto & fosforo)	Estrazione di acqua di falda	Pesticidi utilizzati per ettaro arabile	Acqua trattata/acqua raccolta	Indice di emissioni di metalli pesanti	Emissioni di materia organica (BOD)

1.1.16 ISSI

L' ISSI è un indice aggregato sviluppato dall'Istituto Italiano per lo Sviluppo Sostenibile per misurare i progressi rispetto allo sviluppo sostenibile a livello NUTS-III (regionale). L'indice integra tre diversi aspetti dello sviluppo sostenibile:

1. Sviluppo socio-economico
2. Ambiente
3. Uso delle risorse

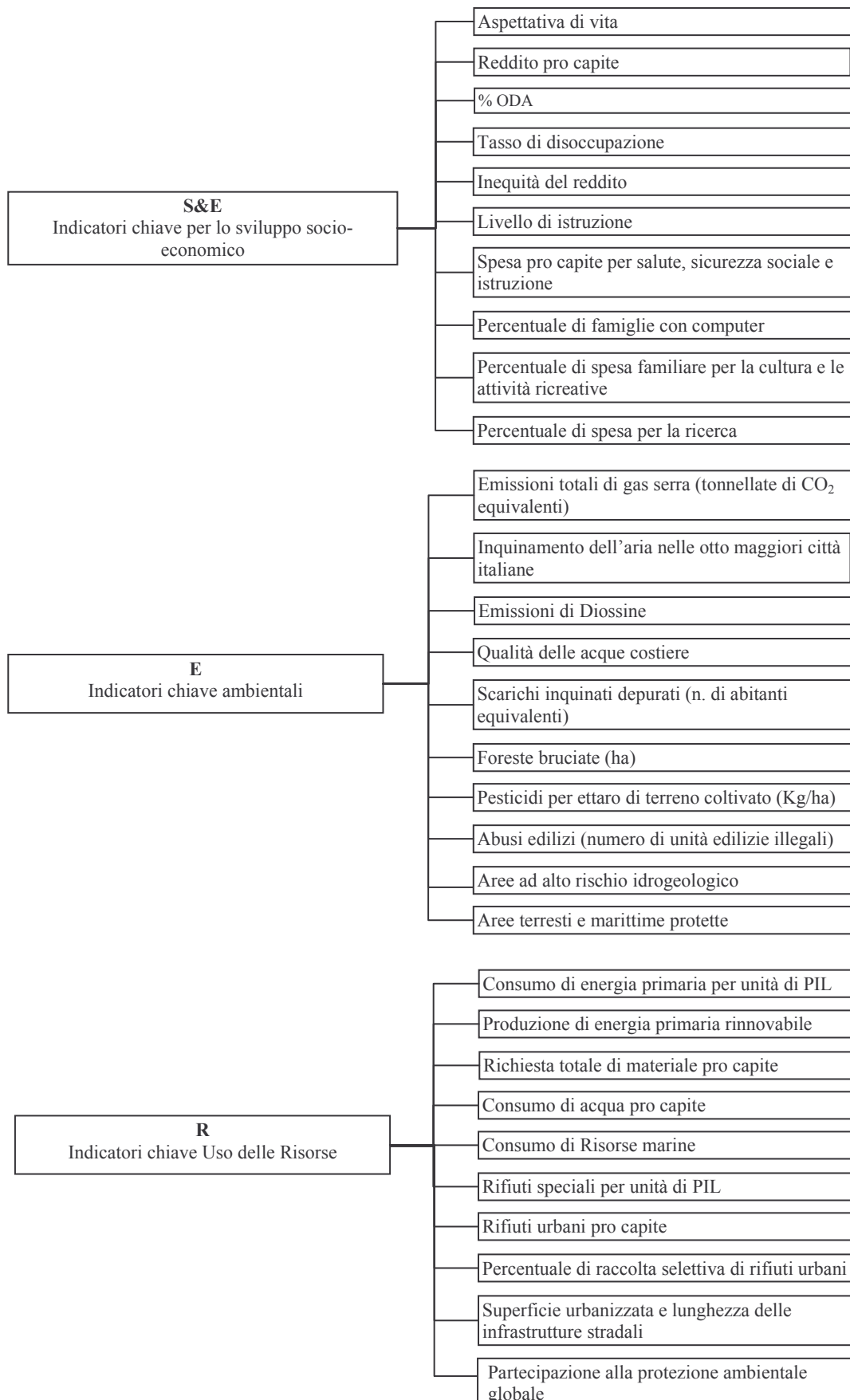
Lo sviluppo socio-economico combina aspetti sociali ed economici, il reddito e il lavoro, l'equità e i diritti civili, introducendo il concetto di qualità della vita e dell'ambiente, la salute pubblica e l'eredità artistica e culturale.

Per quanto riguarda l'ambiente, gli indicatori scelti sono riferiti a quelli proposti dall'EC, mentre la struttura di riferimento è quella DPSIR.

L'uso delle risorse tiene conto dei parametri di eco-efficienza in termini di materiali, energia, acqua, uso del suolo, visti come input del sistema economico, mentre la produzione di rifiuti ne costituisce l'output.

Gli indicatori sono scelti in accordo con il core set di indicatori dell'UNCSD, secondo gli indicatori per lo sviluppo sostenibile proposti da EUROSTAT (*EUROSTAT*, 2001) e sulla base di indicatori necessari per la stima dello sviluppo sostenibile locale. L'aggregazione delle diverse variabili è ottenuta con un modello in cui il punteggio è dato secondo la metodologia della distanza dal target. I target sono definiti sulla base di politiche di sviluppo sostenibili nazionali. L'ISSI è l'unico esempio di indice aggregato per la valutazione degli indirizzi politici e per il benchmarking a livello NUTS-III (*Ronchi et al.*, 2002).

Lo sviluppo socio-economico può essere considerato sostenibile se le pressioni generate sull'ambiente non danneggiano la sua qualità ecologica. Inoltre, l'uso di risorse deve essere compatibile con la loro conservazione a lungo termine. Il sistema di indicatori è basato su un grande set di indicatori, strutturato in tre sottoinsiemi che misurano rispettivamente il livello e la qualità del modello di sviluppo socio-economico italiano, gli attuali fattori di pressione sull'ambiente, l'efficienza e l'intensità dell'uso della risorsa naturale. Ogni sottoinsieme è composto da 10 indici chiave riportati di seguito.



1.1.17 Campagna per le città sostenibili

La prima Conferenza europea delle Città Sostenibili, tenutasi nel 1994 ad Aalborg in Danimarca, sotto il patrocinio congiunto della Commissione europea e della città di Aalborg, e che è stata organizzata dal Consiglio internazionale per le iniziative ambientali locali (ICLEI), ha adottato la Carta delle Città Europee per lo sviluppo sostenibile (Aalborg Charter).

La Carta di Aalborg è stata firmata inizialmente da 80 amministrazioni locali europee e da 253 rappresentanti di organizzazioni internazionali, governi nazionali, istituti scientifici, consulenti e singoli cittadini. Con la firma della Carta le città e le regioni europee si sono impegnate ad attuare l'Agenda 21 a livello locale e a elaborare piani d'azione a lungo termine per uno sviluppo durevole e sostenibile, nonché ad avviare la campagna per uno sviluppo durevole e sostenibile delle città europee.

Gli 80 governi locali che inizialmente si sono impegnati per l'avvio di Agenda 21, oggi sono in numero di 1650. Con l'adozione di tale Carta le città riconoscono che il concetto dello sviluppo sostenibile fornisce una guida per commisurare il livello di vita alle capacità di carico della natura. Pongono tra i loro obiettivi la giustizia sociale, le economie sostenibili e la sostenibilità ambientale. La giustizia sociale dovrà necessariamente fondarsi sulla sostenibilità e l'equità economica, per le quali è necessaria la sostenibilità ambientale. Sostenibilità a livello ambientale significa conservare il capitale naturale. Ne consegue che il tasso di consumo delle risorse materiali rinnovabili, di quelle idriche e di quelle energetiche non deve eccedere il tasso di ricostituzione rispettivamente assicurato dai sistemi naturali e che il tasso di consumo delle risorse non rinnovabili non superi il tasso di sostituzione delle risorse rinnovabili sostenibili. Sostenibilità dal punto di vista ambientale significa anche che il tasso di emissione degli inquinanti non deve superare la capacità dell'atmosfera, dell'acqua e del suolo di assorbire e trasformare tali sostanze. Inoltre, la sostenibilità dal punto di vista ambientale implica la conservazione della biodiversità, della salute umana e delle qualità dell'atmosfera, dell'acqua e dei suoli a livelli sufficienti a sostenere nel tempo la vita e il benessere degli esseri umani nonché degli animali e dei vegetali.

Nell'ambito di questa Campagna è stato concordato un core-set di obiettivi e indicatori e i governi locali in essa coinvolti sono impegnati nella raccolta dei dati (Cenni *et al.*, 2003).

1.2 IL MODELLO EPSILON

Un valido contributo alla definizione di un modello, in grado di misurare la sostenibilità a livello regionale a scala europea e di confrontare le performance delle singole regioni, è stato fornito dal progetto di ricerca internazionale "EPSILON" (Environmental Policy via Sustainability Indicators on a European-wide NUTS III level), co-finanziato nell'ambito del programma Società e Tecnologie dell'Informazione del 5° Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico della Commissione Europea. Il progetto è stato realizzato da un Consorzio Internazionale composto da dieci tra Enti, Istituti di Ricerca e Società del Terziario Avanzato, appartenenti a sei Stati dell'Unione Europea. Il coordinatore del progetto è stato EPSILON International SA (EL), mentre i partners sono stati:

- National Technical University of Athens, NTUA (GR);
- National Statistical Service of Greece, NSSG (GR)
- National Statistical Institute of Cyprus, NSI-CY (CY)
- University of Minho, (PT)
- Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (CH)
- Statistical Service of Cologne, (DE)
- Planungsburo Prof. Dr. Schaller, PBS (DE)
- Provincia di Cosenza (IT)
- MiCE Engineering (IT)

Nell'ambito di tale progetto sono stati elaborati un modello matematico e un software per la misura della sostenibilità a livello regionale e provinciale nei 15 Stati dell'Unione Europea prima dell'allargamento.

La partecipazione a tale progetto durante l'attività di dottorato, quale componente del gruppo di ricerca del partner italiano, ha riguardato principalmente l'attività di raccolta ed elaborazione dei dati per l'Italia e la fase di validazione e applicazione del modello, con un impegno anche in tutte le altre attività di ricerca effettuate nel

progetto.

Il modello di sostenibilità EPSILON è costituito da una struttura gerarchica di indicatori appartenenti alle quattro dimensioni della sostenibilità: ambientale, economica, sociale, e istituzionale. In particolare (*Jolliet et al.*, 2003):

- il pilastro ambientale è rappresentativo dello stato dell’ecosistema e dell’ambiente;
- il pilastro economico esamina la prosperità finanziaria delle regioni per mezzo della valutazione della loro efficienza economica e delle loro performance economiche;
- il pilastro sociale esamina la situazione della condizione umana e del welfare sociale;
- il pilastro istituzionale analizza la governance regionale.

Ciascun pilastro è stato successivamente diviso in 4 temi, ciascun tema in 4 sottotemi e infine ciascun sottotema in indicatori e sub-indicatori elementari.

Come è noto, valutare la sostenibilità resta una questione molto delicata, testimoniata dal fatto che non esiste ancora un consenso unanime né a livello concettuale né a livello metodologico e il dibattito è ancora in corso. Le definizioni della sostenibilità allo stato attuale possono ritenersi comprese tra due limiti, un’accezione “debole” e una “forte” per come definite da *Neumayer* (1999), in cui la prima ipotizza che nel lungo termine il capitale naturale possa essere sostituito da quello artificiale, e la seconda che ritiene impossibile tale sostituzione.

Con riferimento ai modelli analizzati in precedenza, il modello EPSILON è stato derivato da due principali modelli concettuali:

- il modello DPSIR che effettua una differenziazione tra livelli di indicatori (indicatori di determinanti, di pressione, di stato, di impatto, di risposte);
- il modello delle “quattro sfere” del Comitato per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, che offre una rappresentazione dello sviluppo sostenibile a quattro dimensioni (sociale, economica, istituzionale e ambientale).

Se da un lato il modello delle quattro sfere ha fornito lo spunto per una rappresentazione quadri-dimensionale della sostenibilità, e in particolare delle sue dimensioni non-ambientali, dall’altro il modello DPSIR dell’EEA è servito a fornire

una solida base al modello EPSILON, dal momento che il DPSIR fa una distinzione tra categorie di indicatori al fine di spiegare le modifiche dello stato dell'ambiente risultanti dalle pressioni esercitate dalle attività umane sull'ambiente e sugli impatti di tali cambiamenti, tenendo anche conto delle risposte individuali o collettive agli impatti (*Blanc et al., 2005a*).

In tal senso, il pilastro ambientale di EPSILON è fortemente correlato allo stato dell'ambiente all'interno del modello DPSIR. Sono stati definiti quattro temi, tre legati alle matrici Aria, Suolo e Acqua, che forniscono una rappresentazione bilanciata della qualità locale dell'ambiente e un quarto tema legato allo stato dell'ecosistema. Ciascun tema è composto a sua volta da sottotemi, definiti in stretta relazione con le priorità delle politiche dell'unione Europea per lo sviluppo sostenibile (*COM, 2005a, 2005b*).

Per la reperibilità dei dati, è stato scelto il criterio di privilegiare fonti ufficiali di dati regionali a scala europea, tra cui Eurostat, EMEP, EEA, New Cronos, Gisco, Corine Land Cover e Nationmaster, tutte dotate di siti web, la maggior parte dei quali consentono la consultazione e il download gratuito dei dati. Per quegli indicatori di non facile reperibilità sono state, invece, applicate documentate procedure matematiche, statistiche, e/o di calcolo geo-spaziale basato su tecnologia GIS.

Per la stima degli indicatori composti al livello di sottotema, tema e pilastro sono stati adoperati opportuni modelli di aggregazione. I dati sono stati raccolti a livello NUTS0, NUTS1, NUTS2 e NUTS3 per tutti i 15 Stati Membri dell'Unione Europea.

Il database EPSILON, costruito utilizzando Microsoft Access, contiene un numero di tabelle, query, form e report che forniscono informazioni su dati, valori, definizioni, fonti, unità di misura, disponibilità, qualità degli indicatori, oltre ai valori numerici degli stessi indicatori.

Laddove non è stato possibile reperire dati a livello geografico regionale (NUTS 2) o provinciale (NUTS 3), sono state applicate procedure statistico-matematiche per ricavare i dati mancanti a partire dai dati noti a livello geografico nazionale.

E' stato inoltre proposto un nuovo sistema scientifico di attribuzione dei pesi in grado di valutare l'impatto degli indicatori sulla salute umana (*Blanc et al., 2005b*). Tale schema di aggregazione è valido per la maggior parte degli indicatori ambientali di stato ed è basato sulla valutazione del loro impatto potenziale sulla salute umana,

espresso in DALYs (Disability Adjusted Life Years), utilizzando il modello IMPACT2002+ sviluppato da EPFL (Scuola Politecnica Federale di Losanna) (Pennington et al., 2005).

Altro importante aspetto affrontato nell'ambito del progetto EPSILON è stata la questione legata alla definizione di opportuni criteri per la valutazione della qualità e della disponibilità dei dati, basati su quattro classi: Comparabilità, Completezza, Accuratezza e Rilevanza, utilizzando una scala da 1 a 4 (4 = eccellente, 3 = buono, 2 = medio, 1 = scarso):

- *Rilevanza*: una misura della corrispondenza tra i dati reperiti nelle banche dati e la definizione degli indicatori;
- *Accuratezza*: una misura dell'accuratezza dei dati elaborati/stimati dopo le conversioni di scala (ad esempio dalla scala nazionale a quella regionale);
- *Comparabilità*: una misura del grado di comparabilità per i vari dati, in due casi distinti: tra i dati all'interno della stessa aggregazione e all'interno della stessa regione;
- *Completezza*: una misura puramente quantitativa per valutare la percentuale dei valori disponibili per ogni indicatore, sottotema, tema e pilastro per ogni regione. Pertanto esistono due dimensioni per la completezza: la completezza degli indicatori, che si riferisce alla percentuale dei valori non-mancanti per ogni indicatore; la completezza delle regioni, che si riferisce alla percentuale dei valori non-mancanti per ogni regione all'interno degli indicatori.

Per quanto riguarda le tecniche di aggregazione, in accordo alla struttura adottata per il modello, la costruzione degli indicatori composti è stata effettuata seguendo diversi livelli di aggregazione successiva, tenendo conto sia di una dimensione orizzontale, in cui gli indicatori sono normalizzati, che di una dimensione verticale in cui i dati normalizzati sono pesati e composti.

Il modulo di clustering ha raggruppato le regioni NUTS-II/III in gruppi omogenei rispetto alle loro performance in termini degli indicatori di sostenibilità, precedentemente stimate dal modulo di sostenibilità. Grazie a questa tecnica è stato possibile definire direttamente classi di livelli di sostenibilità "bassa", "media", "alta" (o in qualsiasi numero di classi definibile dall'utente) permettendo una più facile comprensione del grado di sostenibilità raggiunto nelle diverse regioni.

E' stata inoltre sviluppata una nuova tecnica di clustering che ha creato una divisione naturale dello spazio geografico Europeo basato su dati georeferenziati, superando i vincoli rappresentati dai confini amministrativi e permettendo di identificare le regioni che hanno valori molto diversi dalle altre (outliers).

Tale modello spaziale ha consentito di aggregare gruppi di regioni che presentano comportamenti simili rispetto a una specifica caratteristica. Pertanto se da un lato ciascun gruppo rappresenta un cluster di regioni simili per la caratteristica analizzata, dall'altro regioni aggregate in cluster differenti sono molto dissimili tra di loro.

E' stata sviluppata una applicazione GIS completa, basata su un geodatabase che gestisce sia dati geografici che statistici, integrando in una interfaccia user-friendly i moduli applicativi, di sostenibilità e di clustering. Inoltre, le funzionalità del GIS sono completamente fruibili su web.

L'applicazione GIS è costituita da un'architettura a tre livelli (GIS server, Web server, Internet-client), i cui componenti sono basati su tecnologia ESRI e su altri strumenti si sviluppo dedicati a supportare l'esecuzione di istruzioni Java.

La principale caratteristica del prodotto finale di EPSILON è di operare direttamente su web. Questa caratteristica, sebbene dipendente, da un sistema di connessione ad alta velocità, ha il notevole vantaggio di permettere a ogni utente interessato ai temi della sostenibilità di usare il prodotto senza dovere installare ed eseguire alcun tipo di applicazione software.

Nell'ambito del progetto sono state effettuate anche delle attività di validazione del modello e dello stesso strumento software. Inoltre sono state sviluppate alcune applicazioni utilizzando e talvolta adattando sia il modello che il GIS, mostrando l'elevata capacità, versatilità e flessibilità di entrambi nell'impiego in diversi scenari di sostenibilità.

Le attività di validazione e di applicazione, che sono state completamente effettuate dai partner italiani del progetto ossia dalla Provincia di Cosenza e dalla MiCE "Microwave Consultant Engineering", hanno interessato la prima parte dell'attività di dottorato.

In particolare, l'obiettivo dell'attività di validazione è stato quello di confrontare i risultati ottenuti con il modello EPSILON con altri risultati simili già esistenti relativi alla valutazione quantitativa della sostenibilità in Italia.

Per raggiungere questo obiettivo sono state eseguite le seguenti Azioni (*Maiolo et al.*, 2005a):

1. Raccogliere altri risultati già esistenti relativi alla valutazione quantitativa della sostenibilità in Italia, diversi da quelli generati dal modello EPSILON.
 - 1.1 Ottenere i dati e le classifiche pubblicate annualmente dal quotidiano “Il Sole 24 Ore”, legate a un ordinamento delle regioni italiane NUTS-3 in termini di un set di indicatori composti relativi alla “qualità della vita” in generale e ai seguenti specifici gruppi di indicatori :
 - tenore di vita;
 - servizi e ambiente;
 - tempo libero;
 - popolazione;
 - affari e lavoro;
 - criminalità.
2. Analizzare i risultati raccolti nell’ambito dell’Azione 1 focalizzando l’attenzione sui seguenti aspetti:
 - la struttura degli indicatori composti;
 - la definizione degli indicatori elementari;
 - le fonti di dati per gli indicatori elementari;
 - le tecniche di peso/normalizzazione/aggregazione utilizzate per ottenere gli indicatori composti a partire da quelli elementari.
3. Selezionare, tra gli indicatori di EPSILON, quelli più simili a quelli utilizzati per generare i risultati raccolti nell’ambito dell’Azione 1 e analizzati nell’ambito dell’Azione 2 e, pertanto, più adatti a riprodurre lo stesso modello di sostenibilità utilizzato per generare i risultati raccolti nell’ambito dell’Azione 1.
4. Adattare il modello EPSILON perché possa utilizzare solo un sotto-insieme di indicatori, coincidenti con quelli selezionati nell’Azione 3.
5. Applicare il modello EPSILON adattato nell’ambito dell’Azione 4 utilizzando i dati del database EPSILON.
6. Confrontare i risultati ottenuti nell’Azione 5 con quelli raccolti nell’Azione 1.

I risultati della validazione sono stati rappresentati in forma tabellare e attraverso delle mappe, di cui si riporta un esempio dei seguito.

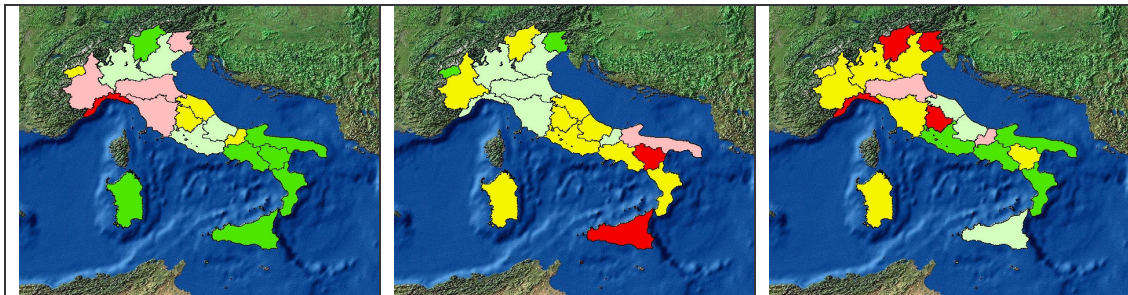


Figura 1.4 Esempio dei risultati della validazione

Per quanto riguarda le applicazioni, esse possono essere raggruppate nelle seguenti sotto-sezioni:

- Applicazioni di base
- Applicazioni estese

L'obiettivo delle applicazioni di base è stato quello di generare un set di applicazioni che mostrassero l'estrema flessibilità del modello usato in diverse aree geografiche e a diversi livelli NUTS, pur assicurando uno standard comune di analisi e di presentazione dei risultati.

Le applicazioni estese sono state raggruppate in tre sotto-sezioni:

- Sensitività
- Trend temporali
- Trasferibilità della filosofia del modello ad altri scenari di valutazione della sostenibilità.

L'obiettivo dell'analisi di sensitività è stato quello di generare un set di applicazioni in grado di mostrare la possibilità di valutare, anche se parzialmente, la sensitività del modello.

L'obiettivo dell'attività relativa ai trend temporali è stato, invece, quello di generare un set di applicazioni in grado di mostrare la possibilità di usare il modello EPSILON per valutare trend temporali di sostenibilità.

L'obiettivo della terza attività è stato, infine, quello di mostrare la trasferibilità della filosofia del modello ad altri scenari inerenti la valutazione della sostenibilità. In particolare, il modello è stato adattato al campo della gestione sostenibile delle

risorse idriche ed è stata effettuata una prima applicazione del modello a scala locale.

Le applicazioni hanno delineato prospettive molto interessanti sia per un utilizzo immediato che per sviluppi futuri, relativamente alla possibilità che decisori o più semplicemente analisti coinvolti in questioni legate alla valutazione della sostenibilità usino e/o adattino il modello come potente strumento di supporto alle decisioni.

Infatti lo strumento ben si presta ad effettuare sia analisi di benchmarking che misure assolute di sostenibilità e/o analisi di trend temporali, consentendo di migliorare l'implementazione delle politiche dello sviluppo sostenibile come, ad esempio, il monitoraggio delle distanze dai target fissati dalle convenzioni Internazionali e/o da regolamenti locali.

Da quanto finora detto si evince che il progetto EPSILON ha contribuito a compiere un notevole passo in avanti nella ricerca e nello sviluppo di una metodologia in grado di misurare la sostenibilità a livello regionale. Partendo, infatti, dalla definizione di un modello scientificamente basato su un sistema strutturato a livelli gerarchici di indicatori in grado di fornire una rappresentazione compiuta delle 4 dimensioni della sostenibilità, è stato sviluppato uno strumento che, utilizzando dati ufficiali facilmente reperibili e ricorrendo a tecnologie GIS disponibili, consente di effettuare in maniera semplice e operativa analisi, simulazioni e confronti.

CAPITOLO II

SOSTENIBILITÀ DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

2.1 MODELLI PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

La stima della sostenibilità delle risorse idriche è uno dei punti chiave nello sviluppo sostenibile e nell'ambito della corretta gestione delle risorse stesse.

La corretta gestione delle risorse idriche rappresenta, infatti, uno degli elementi fondamentali per il perseguimento dello sviluppo sostenibile; le problematiche connesse a tale gestione sono notevoli, visto il frequente stato di sfruttamento delle risorse al di là della loro capacità di ravvenamento, lo stato di inquinamento delle acque, il degrado degli ecosistemi dipendenti dall'acqua, la mancanza di adeguate risorse finanziarie per il miglioramento delle infrastrutture idriche e di depurazione, le difficoltà connesse con le politiche dei prezzi e le loro implicazioni sociali. La crescita della popolazione e del grado di urbanizzazione pone, inoltre, la questione dell'uso delle risorse idriche anche in termini di effetti sulla qualità della vita, sulla salute umana e sugli sviluppi socioeconomici.

Lo sviluppo sostenibile dei sistemi idrici può essere definito, quindi, considerando la progettazione e la gestione delle infrastrutture fisiche, la qualità dell'ambiente o la salute dell'ecosistema, aspetti economici e finanziari, le istituzioni e la società, la salute umana e il benessere sociale, la progettazione e la tecnologia.

I sistemi idrici sostenibili sono, perciò, quelli in cui la progettazione e la gestione contribuiscono a pieno agli obiettivi della società, odierna e futura, mantenendo la loro integrità ecologica, ambientale e idrologica .

I problemi di gestione delle risorse idriche non possono essere visti solamente come problemi tecnici e di interesse delle sole utenze che si trovano laddove il problema esiste, bensì devono essere valutati in una prospettiva multi disciplinare e interregionale (Loucks, 1998).

Includere il criterio di sostenibilità tra i comuni criteri economici, ambientali, ecologici e sociali finora usati per la valutazione delle diverse possibili strategie di gestione delle risorse idriche, costituisce un fondamentale cambiamento del concetto stesso di sviluppo e uso di tali risorse. Il cambiamento nel tempo è un dato certo, mentre non altrettanto certo è la natura e l'entità del cambiamento. Questi cambiamenti avranno un impatto sulle dimensioni fisiche, biologiche e sociali dei sistemi idrici. Un aspetto essenziale nella pianificazione, progettazione e gestione dei sistemi idrici è proprio l'anticipazione del cambiamento: cambiamenti dovuti ai processi geomorfologici, cambiamenti della domanda per crescita di popolazione e/o per migliore qualità della vita, diminuzione della disponibilità di risorse per effetto di cambiamenti idrometeorologici, ecc. Per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità, allora, la progettazione e la gestione dei sistemi idrici deve essere adattabile ai cambiamenti e volta al soddisfacimento delle esigenze della società e al mantenimento dell'integrità ambientale, idrologica ed ecologica. E' allora necessario avere sistemi sempre più robusti e più adattabili ai cambiamenti. I sistemi idrici devono essere in grado di funzionare correttamente sotto cambiamenti di disponibilità, di obiettivi di gestione, di domanda, ecc. Sia a scala di bacino che a scala territoriale più ampia, può non essere possibile soddisfare le potenziali domande attuali se quelle future non potranno essere soddisfatte a costi sociali, economici e ambientali accettabili. Affinché l'uso della risorsa risulti sostenibile, questa deve essere in armonia con le ipotesi di cambiamento del contesto di riferimento nel quale i sistemi idrici opereranno in futuro (Loucks, 1998).

La sostenibilità delle risorse idriche richiede, pertanto, la conoscenza e l'individuazione di quelle che sono le esigenze della società, il soddisfacimento di tali esigenze attraverso corrette progettazioni e gestioni, la capacità di effettuare scelte che assicurino il soddisfacimento delle esigenze anche per le future generazioni.

Di conseguenza la programmazione e la gestione sostenibile dei sistemi idrici devono necessariamente includere (Loucks, 1998):

- lo sviluppo di una visione condivisa degli obiettivi sociali, economici, e ambientali da cui trarre beneficio al presente così come in futuro e l'identificazione delle strade da seguire per far sì che ciascun elemento possa

- contribuire al raggiungimento di tale visione;
- lo sviluppo di un approccio coordinato tra tutti i gestori per raggiungere tali obiettivi;
 - l'uso di approcci che ripristinino o mantengano la vitalità economica, la qualità ambientale, la biodiversità e la salute dell'ecosistema naturale;
 - la promozione di azioni che tengano conto degli obiettivi economici, socio-culturali e comunitari;
 - il rispetto e la garanzia dei diritti privati;
 - il riconoscimento che le economie, gli ecosistemi e le istituzioni sono complesse, dinamiche e tipicamente eterogenee nello spazio e nel tempo e lo sviluppo di un approccio di gestione che tenga in conto e si adatti a queste caratteristiche;
 - l'integrazione della migliore scienza disponibile nei processi decisionali continuando le ricerche scientifiche per migliorare e aumentare le conoscenze;
 - lo stabilire condizioni di base per la funzionalità e la sostenibilità dei sistemi contro quei cambiamenti che possono essere misurati;
 - il monitoraggio e la valutazione delle azioni da determinare se gli obiettivi sono stati raggiunti.

Varie istituzioni e agenzie governative in diverse parti del mondo hanno sviluppato delle linee guida per la progettazione e la gestione dei sistemi idrici i cui destinatari sono progettisti e professionalità coinvolti nella gestione di sistemi idrici e ambientali. Queste linee guide riguardano sei aspetti (Loucks, 1998):

1. progettazione, gestione e funzionamento delle infrastrutture fisiche;
2. ambiente ed ecosistemi;
3. economia e finanza;
4. istituzioni e società;
5. salute e benessere sociale;
6. pianificazione e tecnologia.

Tali linee guide possono essere viste come degli obiettivi cui ingegneri, tecnici, decisori e professionalità devono tendere per incrementare il livello di sostenibilità dei sistemi idrici.

Anche nel campo delle risorse idriche sono stati elaborati diversi approcci e

modelli per la misura della sostenibilità, una cui descrizione viene effettuata di seguito (Maiolo & Pantusa, 2005).

2.1.1 Combinazione pesata di indici

Il Delft Hydraulics Laboratori nei Paesi Bassi ha proposto una procedura capace di misurare o quantificare quanto una iniziativa progettuale può contribuire allo sviluppo sostenibile. Tale metodo si basa sulla combinazione pesata di indici relativi a 5 criteri, ciascuno dei quali è suddiviso in sub-criteri. I 5 criteri e i corrispondenti sub-criteri sono i seguenti (Loucks, 2002):

1. Aspetti socio-economici e impatti sulla crescita, sull'elasticità e la stabilità:
 - Effetti sulla distribuzione delle entrate;
 - Effetti sulla tradizione culturale;
 - Fattibilità nelle strutture socioeconomiche.

2. Uso delle risorse naturali e ambientali incluse le materie prime, la produzione di rifiuti e la capacità di carico dei sistemi naturali:
 - Materie prime ed energia;
 - Produzione di rifiuti;
 - Uso delle risorse naturali (acqua);
 - Effetti sull'elasticità e la vulnerabilità della natura.

3. Incremento e conservazione delle risorse naturali e ambientali, aumento della capacità di autotutela delle risorse naturali e ambientali:
 - conservazione della acqua;
 - evoluzione di suoli e coste;
 - miglioramento e conservazione della fertilità dei suoli;
 - sviluppo della natura e conservazione dei valori naturali.

4. Salute pubblica, sicurezza e benessere:
 - Effetti sulla salute pubblica;
 - Effetti sulla sicurezza;

- Effetti sulla noia/impedimenti;
 - Effetti sulle condizioni di vita e di lavoro.
5. Flessibilità e sostenibilità delle infrastrutture di lavoro, opportunità di gestione per usi multifunzionali, e capacità di adattamento ai cambiamenti:
- Opportunità per lo sviluppo progressivo;
 - Opportunità per usi e gestioni multifunzionali e per rispondere ai cambiamenti delle condizioni;
 - Qualità sostenibile delle strutture;
 - Opportunità di ripristino della situazione originaria.

A ciascun sub-criterio viene attribuito lo stesso peso, per cui la somma dei valori assunti da ciascun sub-criterio rappresenta un *indice di sostenibilità*.

2.1.2 Efficienza, Sopravvivenza e Sostenibilità

Gli indici di sostenibilità non possono essere indici di natura statica, ma devono essere in grado di valutare lo stato del fenomeno cui si riferiscono sia nella condizione odierna che in quella futura. Con riferimento alla condizione futura Pezzey identifica tre obiettivi fondamentali per ciò che riguarda la progettazione e le differenti scelte possibili: efficienza, sopravvivenza e sostenibilità (Loucks, 2002). Per confrontare questi tre obiettivi all'interno di una scelta progettuale è necessario esprimere qualunque decisione in termini di una comune unità di misura, il benessere sociale, "welfare". Ciascuna possibile scelta presa oggi, caratterizzata da un differente valore di un indice k , determinerà un certo valore del benessere sociale $W(k,y)$ per ciascun intervallo di tempo y futuro. Ovviamente ci sarà un livello minimo di benessere sociale necessario per la sopravvivenza, W_{\min} .

Una decisione è *efficiente* se rende massimo i valori, sia nel presente che nei futuri intervalli di tempo, del beneficio sociale. Considerando un tasso di attualizzazione (r) per ciascun periodo, l'obiettivo di efficienza implica la ricerca di quel valore k per il quale risulta:

$$\text{Massimo } \sum_y W(k,y)/(1+r)^y$$

L'obiettivo di *sopravvivenza* si raggiunge se in ciascun periodo di tempo nel

futuro la scelta effettuata riesce a garantire valori dei benefici sociali al di sopra del valore minimo:

$$W(k,y) \geq W_{\min}$$

Infine, una scelta è *sostenibile* se è capace di soddisfare le esigenze della società odierna e nello stesso tempo assicurare la crescita continua dei benefici sociali in ciascun periodo futuro, ossia se:

$$W(k, y+1) \geq W(k, y)$$

In altre parole si può dire che una scelta è sostenibile se assicura nel tempo cambiamenti non negativi dello stato di benessere sociale :

$$dW(k,y)/dt \geq 0$$

Di seguito è riportato un diagramma nel quale sono riportati gli andamenti nel tempo dell'indicatore del benessere sociale per 3 differenti scelte.

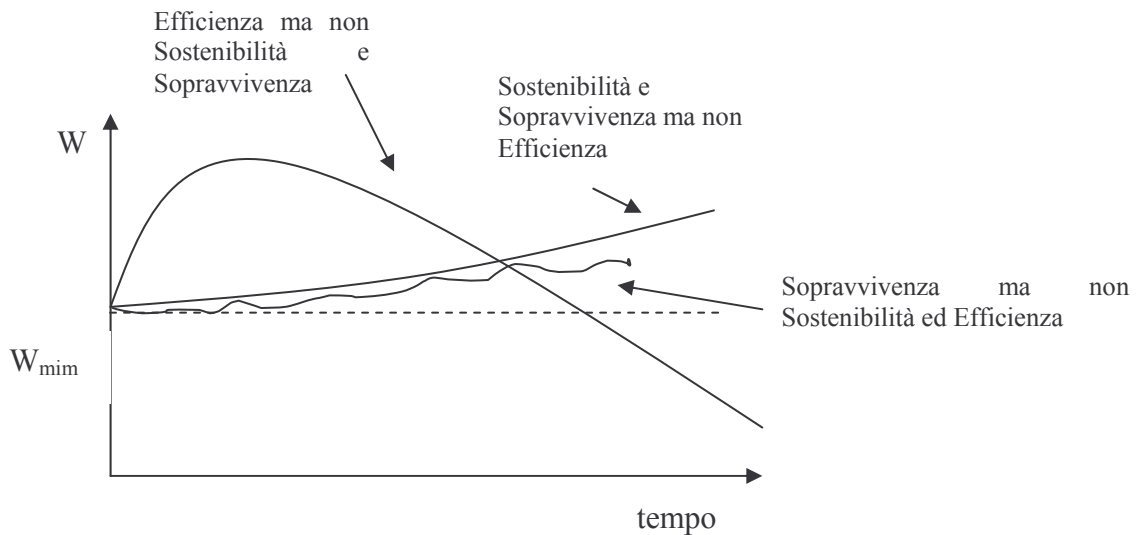


Figura 2.1 Diagramma dell'andamento del benessere sociale nel tempo rispetto a tre differenti scelte

2.1.3 Combinazione pesata di indici stocastici

Un altro approccio per l'individuazione di indici di sostenibilità è quello relativo alla combinazione pesata di specifici indici che forniscono informazioni sull'attendibilità e la vulnerabilità di vari indicatori economici, ambientali, ecologici e sociali che variano nello spazio e nel tempo (Loucks, 2002).

Tale criterio prevede preliminarmente l'attribuzione, per ciascun indicatore, del range dei valori da ritenere accettabili, ossia la definizione di soglie di accettabilità e di non accettabilità. Ovviamente tali decisioni sono estremamente soggettive; esse sono generalmente basate su giudizi personali o sulla base di valori ritenuti socialmente accettabili e non su teorie scientifiche. In alcuni casi essi possono essere basati su valori standard ben definiti, ma per molti indicatori non esistono valori standard predefiniti o fissati.

Il criterio economico include, ad esempio, i costi economici e i benefici derivanti dall'irrigazione, dall'industria, dalla navigazione.

Il criterio ambientale include l'inquinamento e le concentrazioni di costituenti chimici o biologici nelle acque, parametri legati alle caratteristiche idrauliche e geomorfologiche.

Il criterio ecologico include l'estensione e la profondità delle acque, la biodiversità, l'integrità degli ecosistemi.

Il criterio sociale include la frequenza e l'entità di fenomeni come gli allagamenti e la desertificazione che causano disagi e danni economici non facilmente esprimibili in termini economici, e la capacità di assicurare la disponibilità idrica per gli usi civili. Tale criterio può includere anche parametri legati agli usi ricreativi delle acque.

Attraverso la serie temporale dei valori che un generico indicatore assumerà in futuri intervalli di tempo, è possibile ricavare alcuni indici statistici che misurano la probabilità che il valore assunto dall'indicatore ricada nel range di valori accettabili, la misura della capacità di recupero da una condizione non soddisfacente e il grado di scostamento (allontanamento) della condizione soddisfacente.

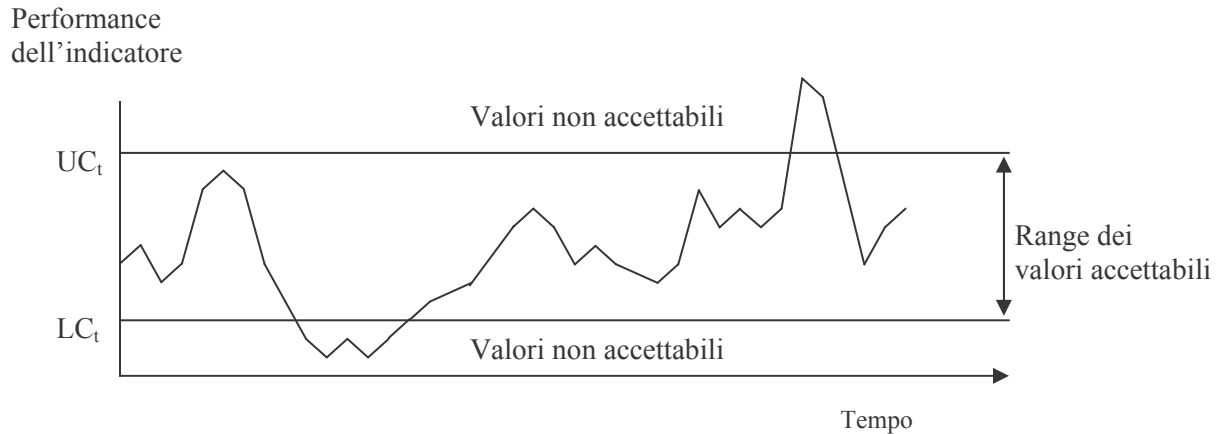


Figura 2.2 Serie temporale di un indicatore derivato da un modello di simulazione

Considerando un generico parametro C e la sua serie temporale possiamo definire:

Adattabilità di C : Numero di valori accettabili/Numero totale di periodi simulati

Elasticità di C : Numero di volte in cui un valore accettabile C_{t+1} segue un valore non accettabile/Numero di valori non accettabili.

Altro parametro che è possibile stimare è la vulnerabilità, che rappresenta, nell'accezione del metodo, una misura statistica del grado di scostamento (allontanamento) dal campo dei valori accettabili. Tale grado di scostamento dal campo dei valori accettabili può essere definito in diversi modi, attraverso i singoli valori non accettabili o attraverso valori cumulati riferiti a una serie continua di valori non accettabili.

Poiché si possono avere molti casi di valori di scostamento (singoli o cumulati) per ciascuna simulazione, conviene fare riferimento a una distribuzione di probabilità di questi valori. Definendo evento sfavorevole il caso in cui il parametro assume un valore non accettabile è possibile definire:

Grado di vulnerabilità del singolo evento sfavorevole (p) di C :

Massimo valore di scostamento del parametro C dal range dei valori accettabili dell'evento sfavorevole con probabilità p , o con probabilità di superamento $1-p$.

Grado di vulnerabilità cumulata(p) di C:

Massimo valore cumulato di scostamento del parametro C dal range dei valori accettabili con probabilità p, o con probabilità di superamento 1-p.

Il grado di vulnerabilità può essere anche definito sulla base dei massimi valori osservati o attesi di singoli o cumulati eventi sfavorevoli di allontanamento dal range dei valori accettabili. Possiamo quindi definire il grado di vulnerabilità atteso come:

Grado di vulnerabilità atteso di C:

\sum_t singolo (o cumulato) valore di scostamento dal range dei valori accettabili di C_t / numero dei singoli casi (o della serie continua) di eventi sfavorevoli.

Per alcuni parametri particolarmente importante è anche la durata degli eventi di non accettabilità. Anche in questi casi è possibile fare riferimento ad una distribuzione di probabilità, per cui possiamo definire:

Durata della vulnerabilità (p) di C:

Massima durata di una serie continua di eventi sfavorevoli per il parametro C con probabilità p o con probabilità di superamento 1-p.

Durata attesa della vulnerabilità di C:

Numero totale di tempo t in cui si hanno casi di non accettabilità/ numero di serie continue di eventi non accettabili.

Un esempio numerico di tale approccio, relativo a una specifica serie temporale di dati, è riportato di seguito.

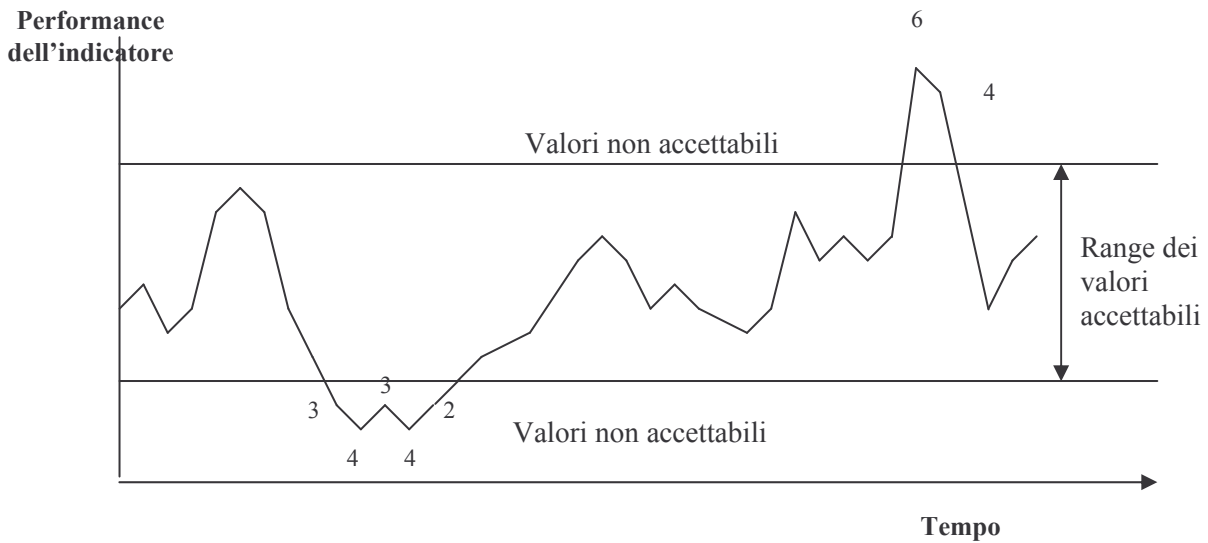


Figura 2.3 Misure di affidabilità elasticità e vulnerabilità derivate dalle serie temporale

$$\text{Adattabilità} = \frac{\text{Numero di valori soddisfacenti}}{\text{Numero totale di valori}} = \frac{31}{38}$$

$$\text{Elasticità} = \frac{\text{Numero di volte in cui un valore soddisfacente segue un valore non soddisfacente}}{\text{Numero totale di valori non soddisfacenti}} = \frac{2}{7}$$

Vulnerabilità:

Grado di scostamento: 6 con probabilità di superamento $0/7=0$
 4 con probabilità di superamento $1/7=0.14$
 3 con probabilità di superamento $4/7=0.57$
 2 con probabilità di superamento $6/7=0.86$

Grado di vulnerabilità atteso $(3+4+3+4+2+6+4)/7 = 3.7$

Durata : 5 con probabilità di superamento 0
 2 con probabilità di superamento 0.5

Durata attesa della vulnerabilità: $(5+2)/2 = 3.5$

Individuati per ciascun parametro economico, sociale, ambientale ed ecologico, tali valori statistici è possibile prevedere quali saranno i valori che i vari parametri assumeranno in intervalli futuri di tempo. Se nel tempo i valori assunti dall'indice di adattabilità e di elasticità crescono e quelli relativi alla vulnerabilità diminuiscono, allora il sistema che si sta analizzando segue uno sviluppo sostenibile. In alcuni casi, tuttavia, si verifica l'aumento di tali indici per alcuni parametri e la diminuzione per altri o, nel caso di un singolo parametro, valori in crescita di alcuni di tali indici (non necessariamente adattabilità ed elasticità) e altri valori in diminuzione. Per analizzare correttamente il sistema in esame, allora, è necessario attribuire dei pesi alle misure di ciascun parametro.

Per confrontare le diverse scelte, è conveniente esprimere l'adattabilità, l'elasticità e il grado di vulnerabilità secondo un'unica unità di misura. Poiché l'adattabilità e l'elasticità assumono entrambi valori compresi tra 0 e 1 è conveniente esprimere anche il grado di vulnerabilità in tal modo. Due sono i passi necessari per fare questo; il primo consiste nel determinare il massimo valore assunto da tale indice rispetto a ciascun parametro per tutte le scelte alternative e dividere ciascun valore del grado di vulnerabilità misurato per tale valore massimo; si ottiene in questo modo un indice relativo del grado di vulnerabilità:

Grado di vulnerabilità relativa (C) = Grado di vulnerabilità di C/ Massimo valore del grado di vulnerabilità tra tutte le alternative.

Il secondo passo è aggregare la misura del grado di vulnerabilità, l'adattabilità e l'elasticità, in modo tale che a valori più alti di tali indici corrispondano livelli più alti di sostenibilità;

$$\text{Sostenibilità (C)} = [\text{Adattabilità (C)}] [\text{Elasticità (C)}] [\Pi_v \{1 - \text{vulnerabilità relativa } v(C)\}]$$

Questo indice di sostenibilità si applica a ciascun parametro C per ciascun livello costante di probabilità p, e può essere calcolato per ciascuna scelta alternativa del sistema. Per ottenere un indicatore sintetico di sostenibilità che consideri tutti i parametri si può effettuare una combinazione pesata attribuendo a ciascun indicatore

un peso W . Si avrà perciò:

Indice di sostenibilità relativo: $\sum_C W_C$ Sostenibilità (C)

2.1.4 Irreversibilità e leggi economiche

Poiché non è possibile conoscere con esattezza le condizioni e le esigenze future, alcuni autori hanno valutato il concetto di sostenibilità in funzione e in termini di capacità di mantenimento del sistema in condizioni di reversibilità (*Nachtnebel*, 2002).

In materia economica molte decisioni, specialmente legate all'utilizzazione delle risorse ambientali, sono analizzate con riferimento al concetto di irreversibilità. Per irreversibilità si intendono i casi di uso totale di risorsa fino alla sua distruzione, oppure i casi che portano all'impossibilità di usi ulteriori della risorsa.

Nel caso delle risorse idriche i casi di irreversibilità sono costituiti, ad esempio, dai prelievi di acque sotterranee fino all'esaurimento della risorsa o dall'inquinamento delle risorse che le rendono non più idonee per i diversi usi.

Considerata una risorsa completamente sfruttata R , al tempo t avremo un ritorno economico netto $NR(t)$ e dei benefici non quantificabili in termini monetari $A(t)$, espressi attraverso equazioni differenziali stocastiche:

$$\frac{dNR(t)}{NR(t)} = a dt + \alpha dw_1 + \rho dw_2$$

dove:

t = tempo

a = fluttuazioni nei ritorni economici netti

α = deviazione standard della fluttuazione

ρ = coefficiente di correlazione

$w_1(t)$ = funzione Wiener (Wiener process)

$w_2(t)$ = funzione Wiener

$$\frac{dA(t)}{A(t)} = bdt + \beta dw_2 + \rho dw_1$$

dove

t = tempo

b = fluttuazioni nei benefici

β = deviazione standard delle fluttuazioni

ρ = Coefficiente di correlazione

Il ritorno complessivo (in termini monetari e di benefici non esprimibili in termini monetari) è espresso come:

$$J(T) = EV \left\{ \int_0^T e^{-\delta t} A(t) dt + e^{-\delta T} \cdot EV(NR(T)) - \int_1^{\infty} e^{-\delta t} (t) dt \right\}$$

con

$$EV(NR(T)) = EV \left\{ \int_0^{\infty} e^{-\delta t} NR(T+t) dt / T \right\}$$

La decisione ottimale si ottiene, quindi, massimizzando $J(T)$, che dipende soltanto dal tempo in cui la decisione irreversibile è presa. Questo approccio considera diverse possibili soluzioni con differenti valori di $N(t)$ e $A(t)$ che riflettono i futuri effetti delle scelte ambientali in termini monetari e non. La correlazione introdotta nelle precedenti equazioni fa supporre che i futuri valori di questi termini siano tra di loro dipendenti. Reed (*Nachtnebel*, 2002), ha dimostrato per un modello leggermente modificato che una scelta è ottimale se e solo se:

$$NR(T) \geq \frac{1+x}{x} \cdot \frac{EV(A_L(T))}{e^{-\delta T}}$$

con:

$$EV(A_L(T)) = EV \left\{ e^{-\delta T} \int_0^{\infty} e^{-\delta t} A(T+t) / T \right\}$$

$$\frac{1}{2} \sigma^2 x^2 + (a - b + \frac{1}{2} \sigma^2) x + (a - \delta) = 0 \quad \text{dove } \sigma^2 = \alpha^2 - 2\sigma\beta\rho + \beta^2 \text{ (varianza)}$$

Riassumendo, i problemi inerenti scelte decisionali con effetti irreversibili sui sistemi è stato analizzato attraverso un modello stocastico che considera gli effetti di tale decisione in termini monetari e non monetari. Entrambi gli effetti sono descritti con equazioni differenziali stocastiche che interpretano i futuri valori assunti. A causa delle limitate informazioni a disposizione, soprattutto per quanto riguarda i benefici delle future generazioni, questo modello è considerato estremamente difficile da utilizzare soprattutto per scelte a lungo termine.

2.1.5 Reversibilità ed Entropia

Per quanto riguarda l'analisi dei fenomeni reversibili Nachtnebel (2002) propone l'utilizzo delle leggi della termodinamica e del concetto di entropia. Il concetto di entropia è infatti utilizzato per la valutazione della minima energia richiesta per riportare un generico sistema al suo stato iniziale; tale energia può essere vista come un indicatore utile per scrivere e quantificare la reversibilità e, quindi, la sostenibilità della scelta effettuata.

Si possono riportare due esempi relativi al calcolo dell'energia richiesta per riportare un sistema al suo stato iniziale: il primo è riferito alla bonifica totale di un falda sotterranea inquinata mentre il secondo è relativo alla sua bonifica parziale.

Consideriamo che una sostanza m sia dispersa in un volume idrico; per eliminare l'inquinante dal volume si preleva un quantità Q di risorsa contenente l'inquinante in concentrazione c_m e attraverso opportune tecniche si separa l'inquinante.

$$c_m = \frac{N_m}{\sum_{j=1}^e N_j} = \frac{N_m}{N}$$

j = sostanza presente

m = materiale inquinante

N_j = numero di moli della sostanza j nel volume V

c_m = concentrazione iniziale della sostanza m nel volume V

N = numero totale di moli nel volume V

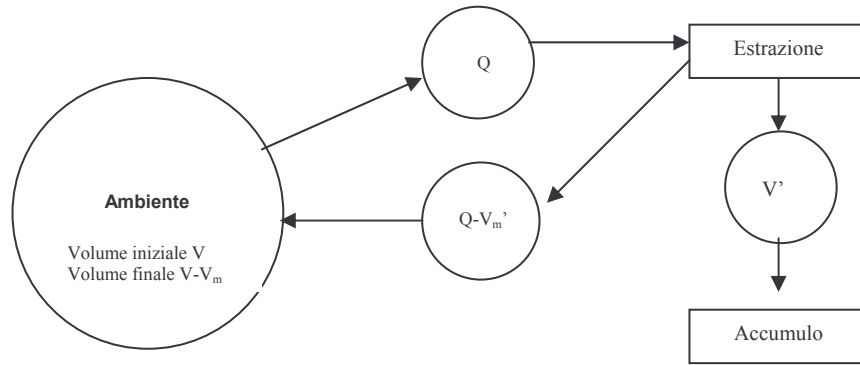


Figura 2.4 Estrazione del materiale m dal volume idrico

Consideriamo il caso di totale estrazione del materiale m. Quando il materiale m contenuto nel volume V è ridotto allo stato puro V_m , si ha una variazione di entropia pari a :

$$\Delta S_1 = -N_m \cdot R \cdot \ln \frac{V}{V_m}$$

Ma il volume di acqua inquinata è passato da V a $(V-V_m)$ cui corrisponde una variazione di entropia pari a:

$$\Delta S_2 = \sum_{i \neq m}^I \Delta S_{2i} = -\sum_{i \neq m}^I N_i \cdot R \cdot \ln \frac{V}{V - V_m}$$

La variazione totale di entropia è allora:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -\left\{ N_m \cdot R \cdot \ln \frac{V}{V_m} + \sum_{i \neq m}^I N_i \cdot R \cdot \ln \frac{V}{V - V_m} \right\}$$

Questa può essere espressa anche in funzione della concentrazione c_m .

$$\Delta S = N_m \cdot R \left\{ \ln c_m + \frac{1 - c_m}{c_m} \cdot \ln(1 - c_m) \right\}$$

La riduzione di entropia per mole di sostanza è:

$$\Delta S = R \left\{ \ln c_m + \frac{1-c_m}{c_m} \cdot \ln(1-c_m) \right\}$$

La minima energia richiesta per la variazione di entropia è:

$$U = \int dU = \int TdS = RT \left\{ \ln c_m + \frac{1-c_m}{c_m} \cdot \ln(1-c_m) \right\}$$

in cui T è la temperatura del sistema.

Considerando solo il primo termine della formula, la quantità totale di energia richiesta per mole di inquinante è:

$$E(c_m) = l_A(c_m) + l_E(c_m) = \frac{\alpha}{c_m} + [-RT \cdot \ln c_m]$$

In tale espressione α è l'energia (lavoro di pompaggio per mole di risorsa), l_A è il lavoro della pompa, l_E è il lavoro di estrazione, c_m è la concentrazione iniziale di inquinante e T è la temperatura.

Consideriamo adesso il caso di inquinamento con ricircolo di un certo volume che contiene una concentrazione minima di inquinante $c_{m, MIN}$. Le condizioni iniziali del sistema sono:

$$N_m(t=0) = N_m^0 \text{ (Moli di inquinante)}$$

$$N(t=0) = N \text{ (Moli di acqua)}$$

$$c_m^0 = \frac{N_m V_0}{N \cdot V_0} = \frac{V_m}{V}$$

Assumiamo che il volume Q contenente $N_m(t) \cdot \frac{Q}{V}$ moli è pompato e la stessa

quantità di acqua è fatta ricircolare contenente $N_{m, MIN} \cdot \frac{Q}{V}$ moli per unità di volume.

La differenza è estratta e accumulata separatamente. Il numero di moli presenti in ogni ciclo è

$$N_m(t) = (N_m^0 - N_{m,MIN}) \cdot e^{\frac{Qt}{V-Q}} + N_{m,MIN}$$

Le variazioni di entropia risultano:

$$\Delta S_m = -R \cdot (N_m^0 - N_{m,MIN}) \ln \frac{V}{V'}$$

$$\Delta S_{GW} = -R \cdot (N - N_m^0 + N_{m,MIN}) \cdot \ln \frac{V}{V - V'}$$

con $V' = (N_m^0 - N_{m,MIN})V_0$

$$U = RT \left\{ \ln c_m^0 + \frac{1 - c_m^0}{c_m^0} \ln(1 - c_m) - \ln c_{m,MIN} + \frac{1 - c_{m,MIN}}{c_{m,MIN}} \cdot \ln(1 - c_{m,MIN}) \right\}$$

L'energia richiesta per la bonifica è un valore finito; questo implica che lo stato del sistema è reversibile. Da questi esempi si evince che l'entropia è una misura che descrive la reversibilità anche per i sistemi idrici e che molti problemi legati alle risorse idriche possono essere valutati attraverso le leggi della termodinamica.

CAPITOLO III

MODELLO PARAMETRICO PER LA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE "S.G.R.I."

3.1 UNA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ DELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

La pressione di movimenti di opinione ha spesso costituito l'impulso per l'adozione di norme di tutela ambientale fino alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED) tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 che ha avuto il pregio di codificare e strutturare in modo più organico e scientificamente basato le istanze di attenzione ambientale provenienti dalla opinione pubblica e rappresentate da un nutrito gruppo di nazioni.

Seppure poco efficaci dal punto di vista operativo, le conclusioni raggiunte al termine della Conferenza costituiscono comunque l'indicazione degli obiettivi di carattere ambientale da conseguire nei prossimi decenni.

Di fondamentale interesse sono le indicazioni relative all'adozione di un modello di sviluppo sostenibile, che non "consuma" le risorse a sua disposizione, ma le utilizza proficuamente senza giungere al loro depauperamento irreversibile.

Un modello del genere consegue, tra gli altri, l'obiettivo di lasciare alle generazioni future capacità di sviluppo uguali a quelle del passato.

Una delle dirette conseguenze di questa visione dei sistemi complessi è l'enunciazione del principio secondo cui "chi inquina paga" che costituisce uno dei pilastri di Agenda 21, adottata proprio in quella sede.

Nell'ottica della sostenibilità la gestione delle risorse idriche può definirsi sostenibile se è volta ad ottimizzarne l'utilizzo, minimizzando i prelievi e gli sprechi e promuovendo sia gli usi plurimi che il recupero e il conseguente riuso dei reflui nei cicli produttivi agricoli e industriali.

L'unitarietà dell'azione di pianificazione e gestione della risorsa idrica è

fondamentale nel conseguimento degli obiettivi di sostenibilità; tale unitarietà si esplica a livello di bacino idrografico, poiché è questa l'unità fondamentale dei sistemi idrici naturali.

La normativa nazionale già da tempo (Legge 319/76) ha individuato tale elemento di unitarietà dell'azione di pianificazione e gestione e lo ha codificato emanando una serie di leggi successive, sia per gli aspetti naturali (Legge 183/89 relativa all'assetto e alla gestione ottimale dei sistemi idrici naturali) che per i sistemi artificiali (Legge 36/94 relativa all'assetto e alla gestione ottimale dei sistemi idrici artificiali).

Infine, la Direttiva 2000/60 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'Unione Europea definisce un quadro di riferimento per l'azione comunitaria nei prossimi decenni in materia di acque. I punti nodali della direttiva possono così essere sintetizzati:

- adozione del bacino idrografico come unità elementare ai fini della pianificazione e gestione della risorsa idrica;
- visione integrata della dimensione "naturale" ed "artificiale" tramite la pianificazione unitaria dell'uso della risorsa;
- adozione di obiettivi di qualità per tutti i corpi idrici;
- introduzione dell'analisi degli aspetti economici nella gestione delle risorse idriche al fine di conseguire la sostenibilità economica oltre che ambientale;
- possibilità di cambiare gli obiettivi di qualità ambientale qualora il loro conseguimento risulti di fatto inattuabile ovvero esageratamente oneroso e contemporaneamente:
 - non sia possibile soddisfare altrimenti bisogni essenziali per le attività umane;
 - non si verifichi un peggioramento dello stato ambientale esistente;
 - gli obiettivi ambientali meno rigorosi e le relative motivazioni che hanno portato alla loro individuazione siano indicati nel piano di gestione e con esso aggiornati ogni sei anni.

Alla luce delle considerazioni su esposte, nella presente attività di ricerca, è stato elaborato un modello parametrico di sostenibilità per la gestione delle risorse idriche a scala locale in grado di stimare il livello di sostenibilità a scala di Ambito

Territoriale Ottimale e di monitorare gli effetti delle scelte e degli investimenti effettuati sullo sviluppo sostenibile delle risorse gestite.

Si è voluto creare un modello che tenesse conto di tutti gli aspetti connessi con il corretto uso delle risorse idriche, basato su un elevato numero di indicatori raggruppati in temi e sotto-temi, che fosse facile da utilizzare e adattabile a qualunque ambito territoriale.

Al tempo stesso, si è cercato di elaborare un modello i cui risultati fossero il più possibile *oggettivi*, prendendo a riferimento valori e criteri fissati nelle normative vigenti.

Lo scopo di tale modello, essendo elaborato a scala locale, è perciò quello di dare supporto concreto alle attività e alle politiche di risposta e di monitorare gli effetti delle azioni di risposta intraprese.

Il modello così ottenuto rappresenta, pertanto, uno strumento di misura del livello di sostenibilità della gestione delle risorse idriche tra realtà differenti e degli effetti che le diverse scelte hanno su tali risorse, facilmente utilizzabile dai gestori dei sistemi idrici integrati.

3.1.1 Obiettivi e struttura del modello

L'attività di ricerca, come detto in precedenza, ha preso spunto dal progetto EPSILON la cui metodologia per lo sviluppo del modello di sostenibilità è stata adattata al tema della sostenibilità della gestione delle risorse idriche, perseguendo i seguenti obiettivi:

- la definizione di un modello, basato su un set di indicatori, per la valutazione della sostenibilità della gestione delle risorse idriche;
- l'adozione di un criterio di normalizzazione degli indicatori elementari basata sulla distanza da un target;
- la definizione di target il più possibile oggettivi, privilegiando quelli già definiti e/o adottati da normative di settore già vigenti o in procinto di esserlo;
- l'applicazione del modello a un caso di gestione di un Sistema Idrico Integrato;
- lo sviluppo di un GIS (Sistema Informativo Geografico) che consenta di

simulare scenari operativi, analizzare in maniera comparativa dati, informazioni e performance, misurare l'efficacia delle politiche attuate per la gestione sostenibile delle risorse idriche.

Il modello comprende tre dimensioni della sostenibilità, in corrispondenza delle quali sono stati definiti i seguenti tre pilastri (Maiolo et al., 2005b; Maiolo et al., 2006b):

- **1° pilastro: Sistemi Artificiali (ASA)**
- **2° pilastro: Sistemi Naturali (ASN)**
- **3° pilastro: Socio-economico-istituzionale (SEI)**

La struttura del modello, schematizzata in figura 3.1, è, quindi, costituita da una piramide, il cui vertice, l'ISST (Indicatore Territoriale Sintetico di Sostenibilità) è composto da tre pilastri, ogni pilastro da temi, ogni tema da sotto-temi e in ultimo ogni sotto-tema da indicatori e/o sub-indicatori elementari.

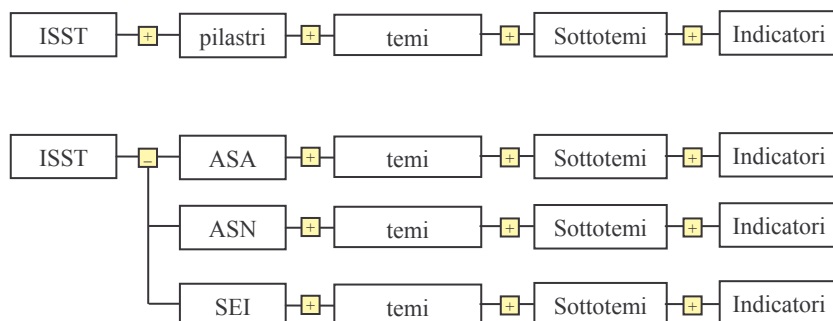


Figura 3.1 Schema della struttura del modello di sostenibilità "S.G.R.I."

Il primo passo per la costruzione di un tale modello e per la creazione di un indice sintetico di sostenibilità, è quello di definire in modo completo tutti gli aspetti, tutte le tematiche e i settori coinvolti nel processo che si sta analizzando, in modo da descrivere in modo corretto l'insieme degli elementi che contribuiscono alla realizzazione del fenomeno.

Nel caso in esame, è stato necessario individuare tutti gli elementi che entrano in gioco nei processi di distribuzione delle risorse idriche e di raccolta e depurazione delle acque reflue, tutti i parametri legati all'uso e alla gestione dei corpi idrici

naturali, tutte le implicazioni economiche e ambientali connesse con l'uso delle risorse, evidenziandone gli elementi caratterizzanti e da monitorare.

Per quanto riguarda il pilastro dei sistemi artificiali ASA, sono stati individuati i temi "Acquedotti", "Fognature" e "Depurazione", in accordo con l'attuale visione unitaria del ciclo delle acque. Per ciascuno tema, si è valutata la disponibilità del servizio e il livello di gestione del servizio stesso, attraverso una serie di indicatori elementari.

Per quanto riguarda la disponibilità del servizio, essa è stata valutata attraverso indicatori quali la dotazione idrica giornaliera garantita, la percentuale della popolazione servita da strutture di collettamento delle acque reflue, l'esistenza di impianti di depurazione dei reflui, ecc.

La gestione del servizio, invece, è stata analizzata con riferimento a fattori legati all'età delle opere civili ed elettromeccaniche delle varie componenti, insieme a valutazioni circa l'utilizzo delle nuove tecnologie, come il telecontrollo, o alla presenza di un adeguato numero di contatori, fino a parametri caratterizzanti lo stato conservazione di reti e impianti. Complessivamente sono state definiti 3 Temi, 6 Sotto-temi e 37 Indicatori.

Per quanto riguarda il pilastro dei sistemi naturali ASN, i temi individuati sono "Acque superficiali-fiumi", "Acque superficiali-laghi", "Acque marine costiere", "Acque sotterranee".

La struttura di tale pilastro è stata derivata da un confronto incrociato tra la Direttiva Quadro Acque 2000/60/EC e il Decreto Legislativo 152/99, analizzando le parti comuni dei due documenti relativi alla definizione delle politiche e degli obiettivi di qualità per tutte le tipologie di corpi idrici e all'identificazione di opportune procedure di monitoraggio.

I vari indicatori selezionati tengono conto di elementi morfologici, di elementi chimico-fisici-batteriologici, di elementi biologici, considerando, ad esempio, parametri come la durezza delle acque, il BOD₅, i nitriti presenti, ecc., fino a parametri legati alla qualità delle acque per la sopravvivenza delle diverse specie acquatiche. In totale, il pilastro ASN è definito da 4 Temi, 13 Sotto-temi, 99 indicatori e 70 sub-indicatori.

Per quanto riguarda, infine, il pilastro socio-economico-istituzionale SEI, esso è

stato dedotto dallo studio effettuato dal Gruppo di Lavoro 2.6 "Wateco", uno dei dieci Gruppi di Lavoro creati dal Parlamento Europeo e dalla Commissione Europea con l'obiettivo di definire una Strategia Comune di Implementazione della Direttiva Acque 2000/60.

In particolare, il Gruppo di Lavoro "Wateco" è incaricato di approfondire gli aspetti e le implicazioni economiche della Direttiva stessa (*Wateco*, 2003).

I temi individuati sono "Analisi economica degli usi della risorsa idrica", "Scenario di base e studio delle tendenze in atto", "Analisi dei costi di recupero ambientale".

Sono stati, quindi, considerati parametri legati alle attività agricole, industriali, turistiche, insieme a parametri inerenti le politiche degli investimenti programmati, ai prezzi e ai costi finanziari dei servizi idrici. Nel complesso il pilastro SEI prevede 3 Temi, 12 Sotto-temi e 37 Indicatori.

La descrizione completa della struttura dei tre pilastri con tutti gli indicatori e sub-indicatori elementari, è riportata negli allegati (ALL.3.1, ALL.3.2, ALL.3.3), mentre una loro schematizzazione, insieme a una tabella riassuntiva, è riportata di seguito.

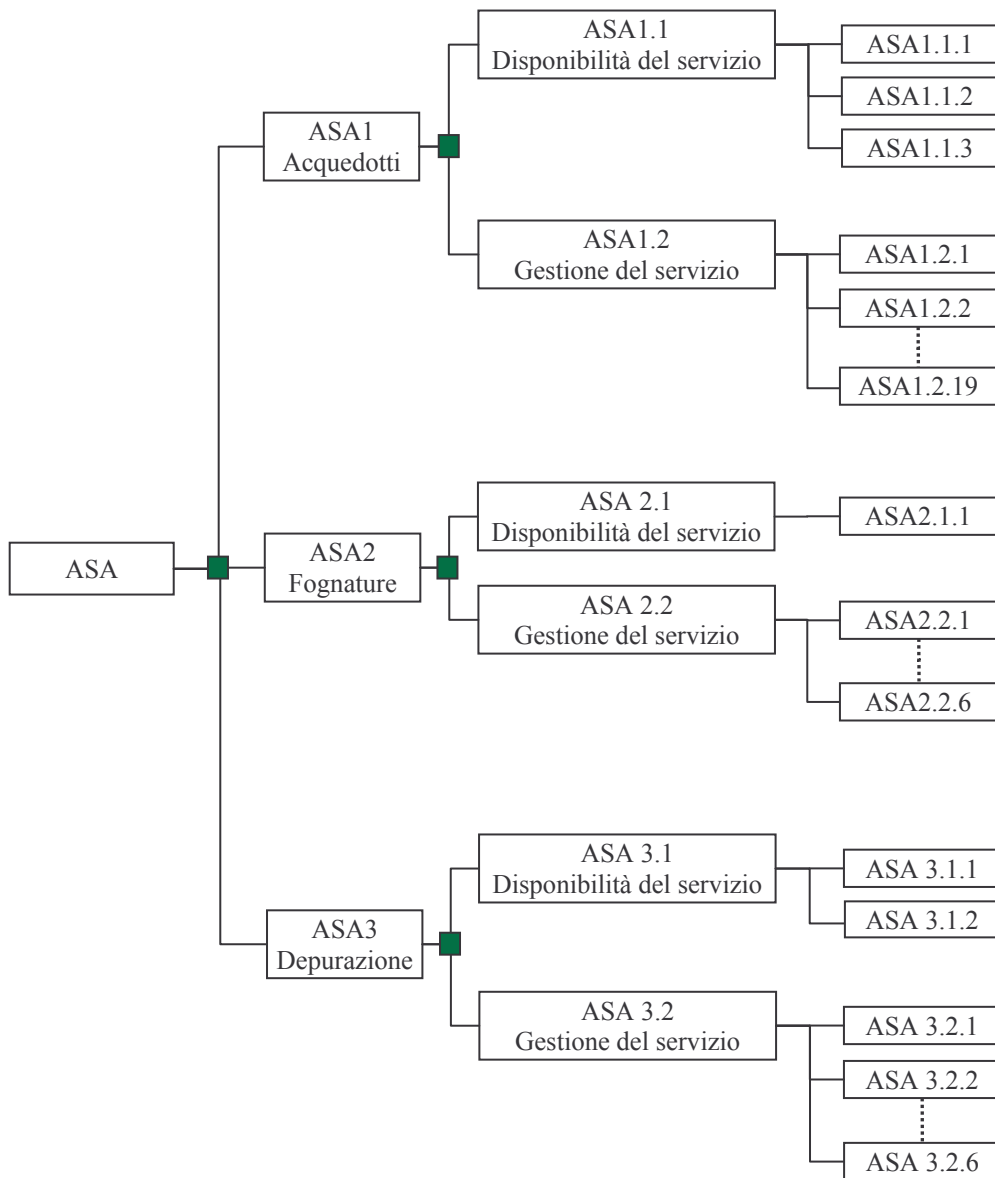


Figura 3.2 Schema del pilastro ASA

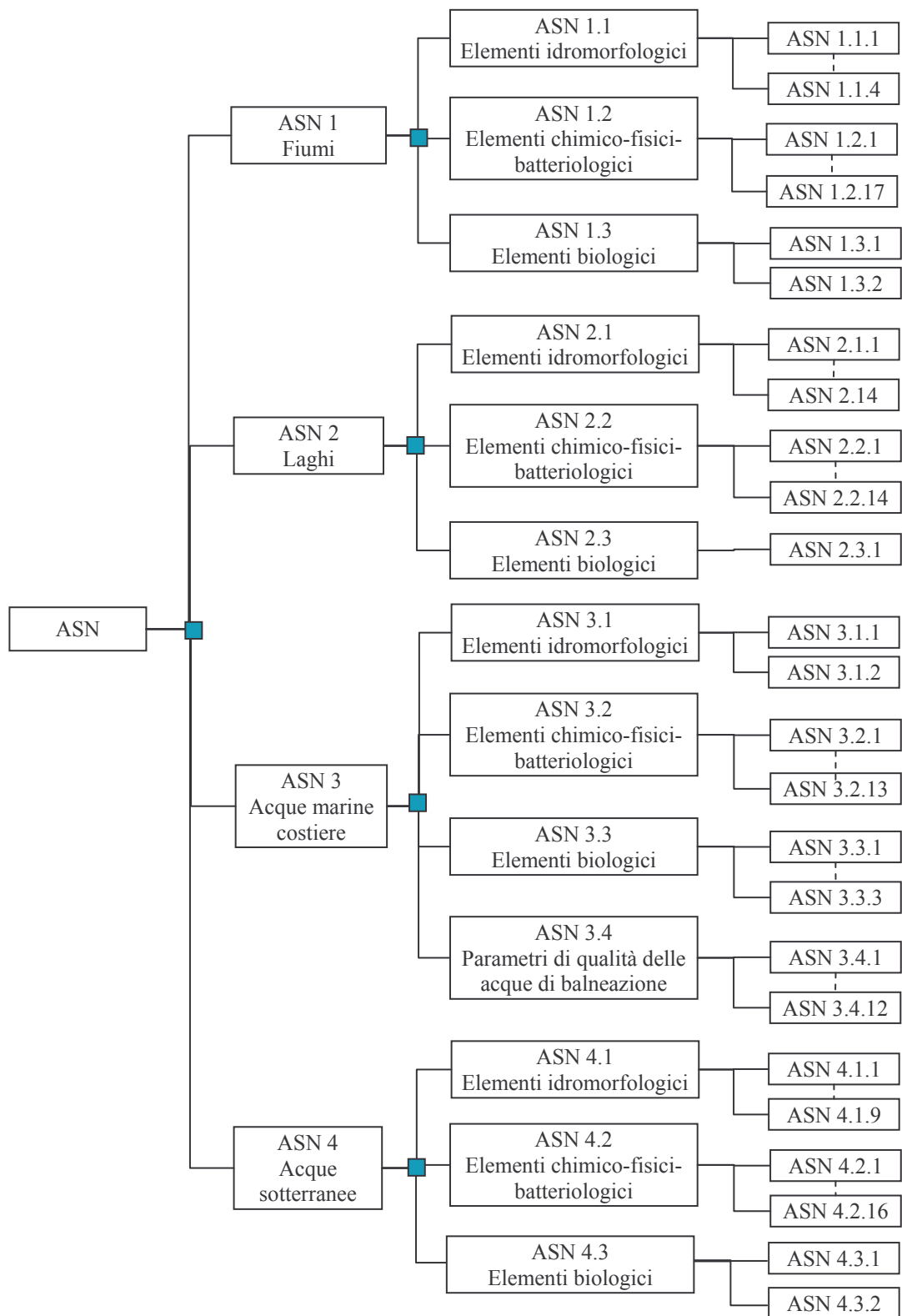


Figura 3.3 Schema del pilastro ASN

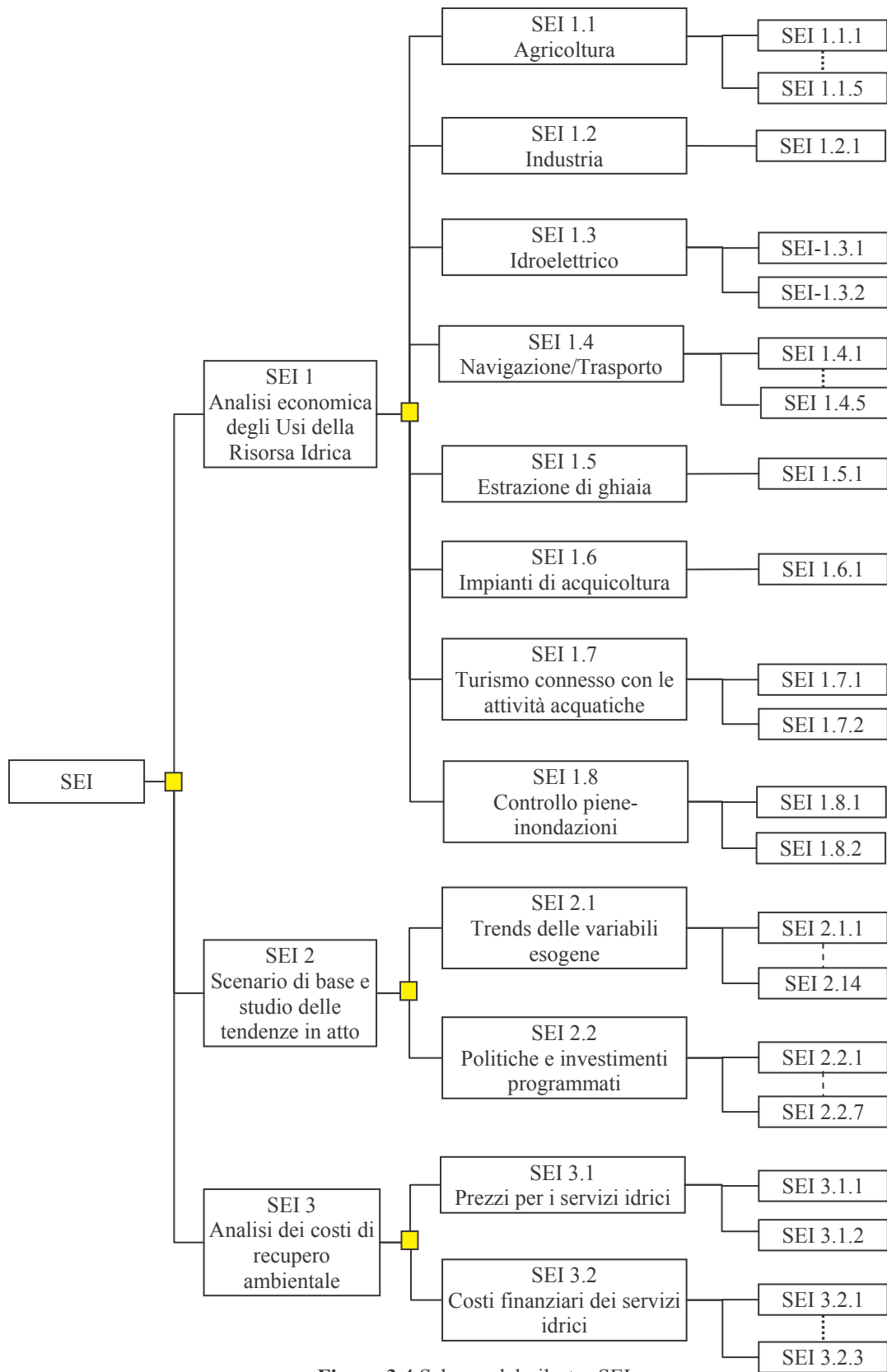


Figura 3.4 Schema del pilastro SEI

	ASA	ASN	SEI
TEMI	3	4	3
SOTTO-TEMI	6	13	12
INDICATORI	37	99	37

Tabella 3.1 Tabella riassuntiva dei temi, dei sotto-temi e degli indicatori scelti per i tre pilastri

E' da sottolineare, infine, come l'intera struttura del modello di sostenibilità adottato possieda da un lato la robustezza che le deriva dai contesti istituzionali e normativi da cui è stata ottenuta e dall'altro una immediata operatività da utilizzare per misurare la distanza dagli obiettivi fissati dalle stesse normative.

3.1.2 Applicazione del modello

Una prima applicazione del modello su esposto è stata effettuata ai 155 Comuni dell'Ambito Territoriale Ottimale ATO-1 Calabria, il cui territorio di competenza coincide con l'intero territorio della Provincia di Cosenza, caratterizzato da una superficie di circa 6.600 Km², da circa 750.000 abitanti, e da un complesso sistema sia di risorse idriche naturali che di infrastrutture realizzate per il loro utilizzo (Maiolo et al., 2005).

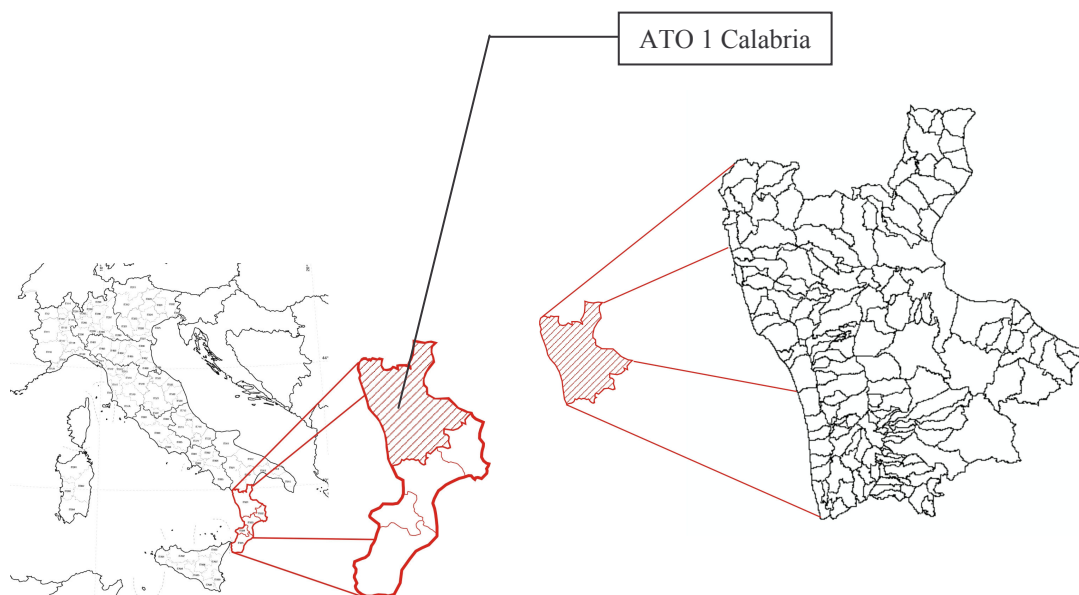


Figura 3.5 Area geografica del caso di studio

A causa delle lunghe e laboriose attività relative alla raccolta dei dati e all'attuale carenza degli stessi soprattutto per ciò che attiene i sistemi naturali, tale applicazione è per ora limitata al pilastro ASA, pur essendo pienamente rappresentativa del modello concettuale, in attesa di essere estesa ad altri indicatori non appena saranno disponibili i dati corrispondenti.

Individuato il set di indicatori passo successivo è la creazione dell'indice composto di sostenibilità.

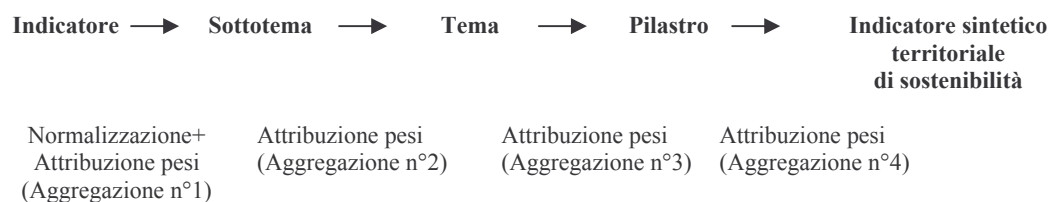
Lo studio di indici composti ha ricevuto una crescente attenzione negli ultimi anni e ha visto lo sviluppo di varie tecniche di calcolo.

Un indice composto è un indice sintetico ottenuto a partire da un set di indicatori elementari differenti, aggregati attraverso una relazione matematica più o meno complessa che permette di risolvere problemi complessi e multidimensionali.

L'utilizzo di indici composti permette di avere un quadro completo e sintetico del fenomeno che si sta analizzando, facilitandone l'analisi e favorendo il confronto e la classificazione di diverse realtà.

Selezionati gli indicatori elementari adatti a descrivere il fenomeno in esame, stimata la qualità dei dati e le relazioni esistenti tra di essi, i passi necessari per la costruzione di indici composti sono:

- processo di *normalizzazione* dei parametri, necessario perché gli indicatori sono misurati in differenti unità di misura e devono perciò essere trasformati nelle stesse unità e riportati allo stesso range;
- *scelta dei pesi* da attribuire a ciascun indicatore e del *modello matematico* di aggregazione che meglio si adatta alla descrizione del fenomeno in esame.



Stante la struttura a piramide, la costruzione di un indicatore aggregato deve necessariamente avvenire secondo differenti livelli, prevedendo una dimensione orizzontale in cui i parametri sono normalizzati e una dimensione verticale in cui i dati normalizzati sono pesati e aggregati per passare a un indice composto di livello superiore, come rappresentato nel seguente schema.

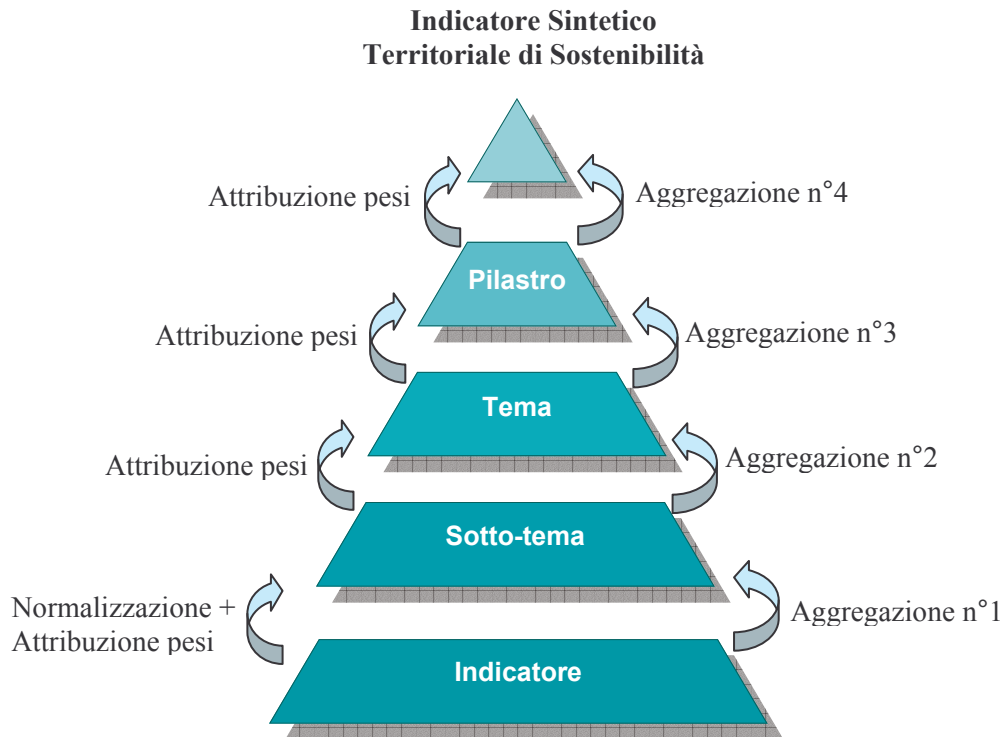


Figura 3.6 Schema di costruzione di un indicatore composto

Effettuata la normalizzazione, a ciascun indicatore viene attribuito un peso necessario per i successivi stadi di aggregazione realizzati sulla base di idonei modelli matematici di aggregazione sub-indicatori elementari → indicatori elementari → sotto-temi → temi → indicatore sintetico territoriale di sostenibilità.

Diversi sono i metodi disponibili in bibliografia per effettuare la normalizzazione; alcuni di questi sono indicati in tabella (Blanc & Jolliet , 2003).

	Rescaled score "min -max"	Standardised score Z-score	"Distance to target" score	Data Envelopment Analysis	Rescaled score "worst reference-best target"
Metodo	Riporta le variabili allo stesso intervallo [0,1] usando limiti inferiori e superiori	Standardizza le variabili per ciascun indicatore intorno allo stesso 0 (media) con la stessa deviazione standard.	Assegna la distanza da un target definito per ciascun indicatore.	Rimodula il campione completo delle variabili includendo una pesatura interna	Riporta le variabili allo stesso intervallo [0,1] usando un peggior valore di riferimento e un miglior target
Formula	$(x_i - x_{i \min}) / (x_{i \max} - x_{i \min})$	$(x_i - \text{media}) / \text{SD}$		Risolvere un sistema con un set di pesi	$(x_i - x_{i \text{ peggior}}) / (x_{i \text{ target}} - x_{i \text{ peggior}})$
Range di valori	[0, 1]	[- 3 , 3]			$[\geq 0, \leq 1]$
Dipendenza dal campione	Bassa (solo se il min. e il max. sono riferiti ai valori estremi del campione)	Alta (quando consideriamo la media e la deviazione standard del campione)	Nessuna	Molto alta	Nessuno se i target sono scelti fuori dal range di valori misurati per le unità territoriali in esame
Punto di forza del metodo	Indipendenza dal campione	Metodo raccomandato prima di effettuare la pesatura in modo che le variabili siano centrate sullo stesso valore di riferimento	Una notevole varietà di funzioni possono essere usate (funzione lineare, funzione concava o convessa)	Non è necessaria una attribuzione soggettiva dei dati poiché la pesatura è intrinseca al campione stesso dei dati.	- Indipendenza dal campione - Possono essere usate funzioni lineari o convesse
Debolezza del metodo	Sensibilità rispetto al valore medio: il set di variabili che presenta un valore medio più alto avrà un maggiore peso nel calcolo dell'indice composto	Assume che il campione sia distribuito secondo legge gaussiana.	Richiede la determinazione di un numero rilevante di target (tanti quanti sono i sotto temi)	La classifica implicita dei valori dipende dal campione dei dati	E' necessario definire il peggior valore di riferimento e il miglior target

Tabella 3.2 Metodi di normalizzazione dei dati

Molteplici sono anche le tecniche esistenti in letteratura per l'aggregazione degli indicatori e la scelta del metodo che meglio si adatta a caratterizzare il fenomeno in esame dipende dai dati, oltre che dalla discrezione e dal giudizio dell'analista.

Tra le principali tecniche ricordiamo (*Institute for the Protection and Security of the Citizen Technological and Economic*, 2002):

- Aggregation systems
- Multiple linear regression models
- Principal components analysis and factor analysis
- Cronbach alpha
- Neutralization of correlation effect
- Efficiency frontier
- Distance to targets
- Experts opinion (budget allocation)
- Public opinion
- Analytic Hierarchy Process.

La tecnica più appropriata al caso specifico in esame sembra essere quella basata sulla *distanza dal target*, perché un'attenta definizione dei singoli target consente di misurare direttamente l'efficacia delle varie politiche adottate in materia di sostenibilità.

I target sono stati desunti direttamente dal Piano d'Ambito per l'ATO-1 Calabria. In accordo al quadro legislativo della Legge 36/94, tale Piano strategico, infatti, basato su un dettagliato inventario di tutte le infrastrutture relative all'acqua, delinea la pianificazione per gli investimenti e gli interventi futuri, tracciando la gestione e il modello organizzativo, assieme al piano economico-finanziario.

La procedura seguita per la costruzione di indicatori composti è riportata nello schema seguente.

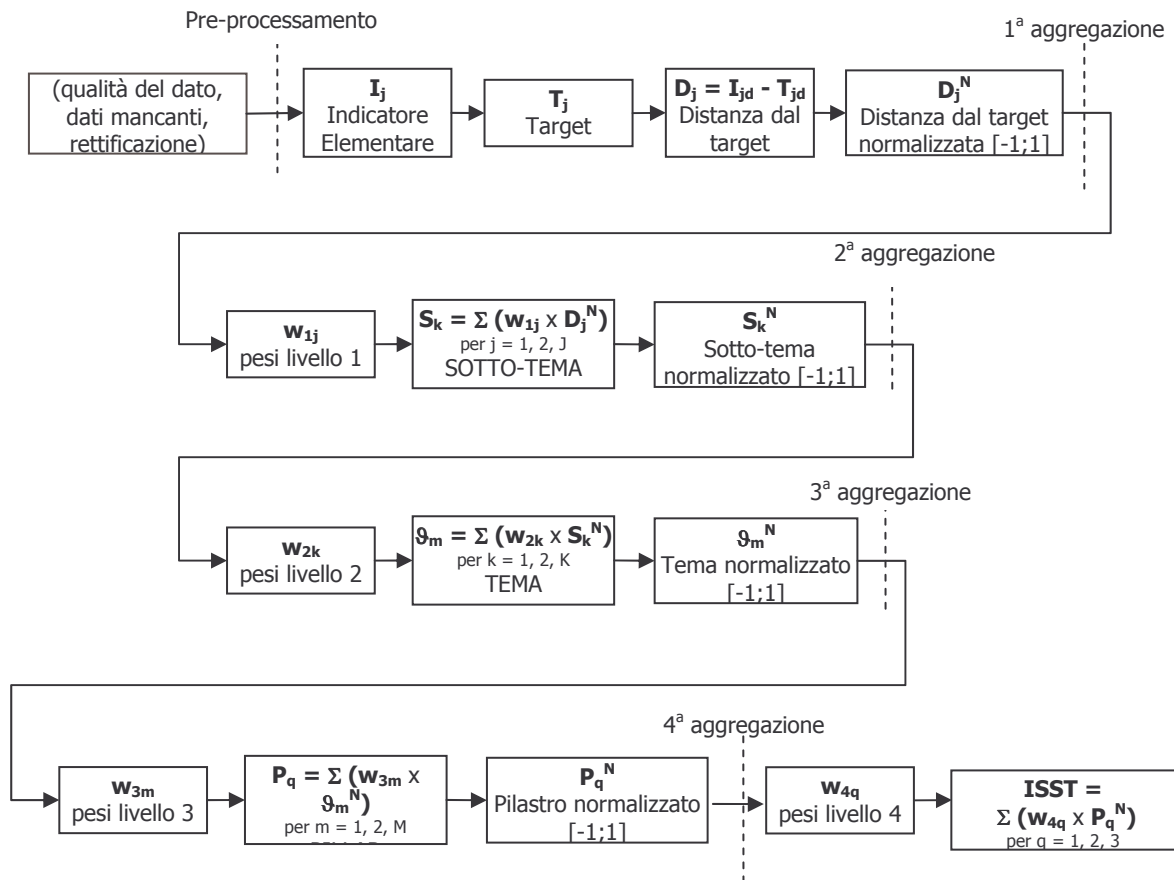


Figura 3.7 Costruzione dell'indicatore sintetico di sostenibilità

Con riferimento alla figura, preliminarmente alla prima normalizzazione, pesatura e aggregazione degli indicatori elementari, è stato effettuato un pre-processamento dei dati consistente in tre fasi principali:

1. un controllo di qualità sui dati, scartando quelli con errori evidenti;
2. un'identificazione dei dati mancanti, con conseguente filtraggio dei record corrispondenti;
3. una rettificazione della direzione dell'indicatore, pre-assegnando un fattore moltiplicativo pari a -1 a quegli indicatori che si muovono in una direzione opposta alla sostenibilità (per esempio, l'indicatore delle perdite all'interno di una rete di distribuzione deve essere rettificato, dal momento che un valore alto – cioè perdite elevate – si muove in direzione opposta e non verso la sostenibilità).

La fonte dei dati è rappresentata dal Piano d'Ambito (Sogesid, 2001). Di seguito è riportata una tabella relativa ai target individuati.

Codice Indicatore	Indicatore	Variabile obiettivo	Valore target	Unità di misura
ASA 1.1.1	Volume serbatoi	Volume serbatoi	m ³ disponibili > 100% vol. medio giorn. erogato "260 se pop<5000 280 se 5000<pop<10000 300 se 10000<pop<50000 320 se 50000<pop<100000 340 se pop>100000"	m ³
ASA 1.1.2	Dotazione idrica giornaliera	Soddisfacciamento quantitativo dell'utenza: raggiungimento di dotazioni civili adeguate		litri/ab/giorno
ASA 1.1.3	Copertura del servizio	Soddisfacciamento quantitativo dell'utenza: estensione della copertura del servizio	100%	% serviti su totale residenti
ASA 1.2.1	Età delle opere civili degli impianti di potabilizzazione	Stato di conservazione degli impianti di disinfezione	< 40 anni	Età opere civili
ASA 1.2.2	Stato di conservazione delle opere civili degli impianti di potab.	Stato di conservazione degli impianti di disinfezione	Sufficiente	Stato di conservazione opere civili
ASA 1.2.3	Età delle opere elettromeccaniche degli impianti di potabilizzazione	Stato di conservazione degli impianti di disinfezione	< 10 anni	Età opere elettrom.
ASA 1.2.4	Stato di conservazione delle opere elettromeccaniche degli impianti di potabilizzazione	Stato di conservazione degli impianti di disinfezione	Sufficiente	Stato di conservazione opere elettrom.
ASA 1.2.5	Esistenza di telecontrollo per gli impianti di potabilizzazione	Copertura rete di telecontrollo	SI	boolean
ASA 1.2.6	Età delle opere civili degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	< 40 anni	Età opere civili
ASA 1.2.7	Stato di conservazione delle opere civili degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	Sufficiente	Stato di conservazione opere civili
ASA 1.2.8	Età delle opere elettromeccaniche degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	< 10 anni	Età opere elettrom.
ASA 1.2.9	Stato di conservazione delle opere elettromeccaniche degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	Sufficiente	Stato di conservazione opere elettrom.
ASAI.2.10	Esistenza telecontrollo per gli impianti di sollevamento	Copertura rete di telecontrollo	SI	boolean
ASAI.2.11	Età dei serbatoi	Stato di conservazione	< 60 anni	Età
ASAI.2.12	Stato di conservazione dei serbatoi	Stato di conservazione dei serbatoi	Sufficiente	Stato di conservazione

ASAI.2.13	Esistenza telecontrollo dei serbatoi	Copertura rete di telecontrollo	SI	boolean
ASAI.2.14	Numero di contatori	Misurazione dei volumi erogati	ogni utenza dotata di contatore	n° contatori
ASAI.2.15	Perdita media nelle reti di distribuz.	Perdita media reti di distribuzione	0,25 l/s/Km di rete	l/sec/Km
ASAI.2.16	Valore percentuale delle perdite in rete	Perdita media reti di distribuzione	20%	%
ASAI.2.17	Età delle reti di distribuzione	Stato di conservazione delle reti	< 60 anni	Anno di realizzazione
ASAI.2.18	Stato di conservazione delle reti di distribuzione	Stato di conservazione delle reti	Stato sufficiente	Stato
ASAI.2.19	Esistenza di telecontrollo delle reti idriche	Copertura rete di telecontrollo	SI	boolean
ASA.2.1.1	Percentuale di popolazione servita	soddisfacciamento quantitativo dell'utenza: estensione della copertura del servizio	100%	% serviti su totale residenti
ASA.2.2.1	Età delle reti di fognatura	Stato di conservazione delle reti	< 60 anni	Anno di realizzazione
ASA.2.2.2	Stato di conservazione delle reti di fognatura	Stato di conservazione delle reti	Stato sufficiente	Stato
ASA.2.2.3	Età delle opere civili degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	< 40 anni	Età opere civili
ASA.2.2.4	Stato di conservazione delle opere civili degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	Sufficiente	Stato di conservazione opere civili
ASA.2.2.5	Età delle opere elettromeccaniche degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	< 10 anni	Età opere elettrom.
ASA.2.2.6	Stato di conservazione delle opere elettromeccaniche degli impianti di sollevamento	Stato di conservazione degli impianti di sollevamento	Sufficiente	Stato di conservazione opere elettrom.
ASA.3.1.1	Esistenza di impianti di depurazione	copertura del servizio di depurazione	SI	boolean
ASA.3.1.2	Percentuale di popolazione servita	copertura del servizio di depurazione	100% abitanti serviti da fognatura	% serviti su totale residenti
ASA.3.2.1	Qualità effluente: analisi chimiche	Qualità effluente: analisi chimiche	100%	% effluenti a norma di legge
ASA.3.2.2	Qualità effluente: analisi microbiologiche	Qualità effluente: analisi microbiologiche	100%	% effluenti a norma di legge
ASA.3.2.3	Età degli impianti di depurazione	Stato di conservazione degli impianti di depurazione	< 25 anni	Età
ASA.3.2.4	Stato di conservazione degli impianti di depurazione	Stato di conservazione degli impianti di depurazione	Sufficiente	Stato di conservazione
ASA.3.2.5	Esistenza del telecontrollo	Esistenza sistema di telecontrollo	SI	boolean
ASA.3.2.6	Grado di sfruttamento degli impianti	Grado di sfruttamento degli impianti	> 90%	A.E. attuali / A.E. progetto

Tabella 3.3 Target del piastrò ASA

Per dimostrare la procedura di aggregazione e la capacità di fornire informazioni sullo stato del sistema idrico, si riporta un'applicazione al tema ASA1 "Acquedotti". I dati relativi agli indicatori elementari ASA1.1.2 (Dotazione idrica lorda), ASA1.2.15 (Perdite medie assolute delle reti) e ASA1.2.16 (Perdite medie in % delle reti) sono stati raccolti e processati in accordo alla procedura illustrata in figura 3.5, usando i target descritti e pesi unitari nelle prime due fasi di aggregazione.

I valori così ottenuti per il tema ASA1 sono stati successivamente classificati nelle seguenti 5 categorie:

1. Sostenibilità molto bassa ($-1 \leq \text{valori} < -0,6$)
2. Sostenibilità bassa ($-0,6 \leq \text{valori} < -0,2$)
3. Sostenibilità media ($-0,2 \leq \text{valori} < 0,2$)
4. Sostenibilità alta ($0,2 \leq \text{valori} < 0,6$)
5. Sostenibilità molto alta ($0,6 \leq \text{valori} \leq 1$)

Di seguito è illustrata una mappa GIS di questa applicazione.

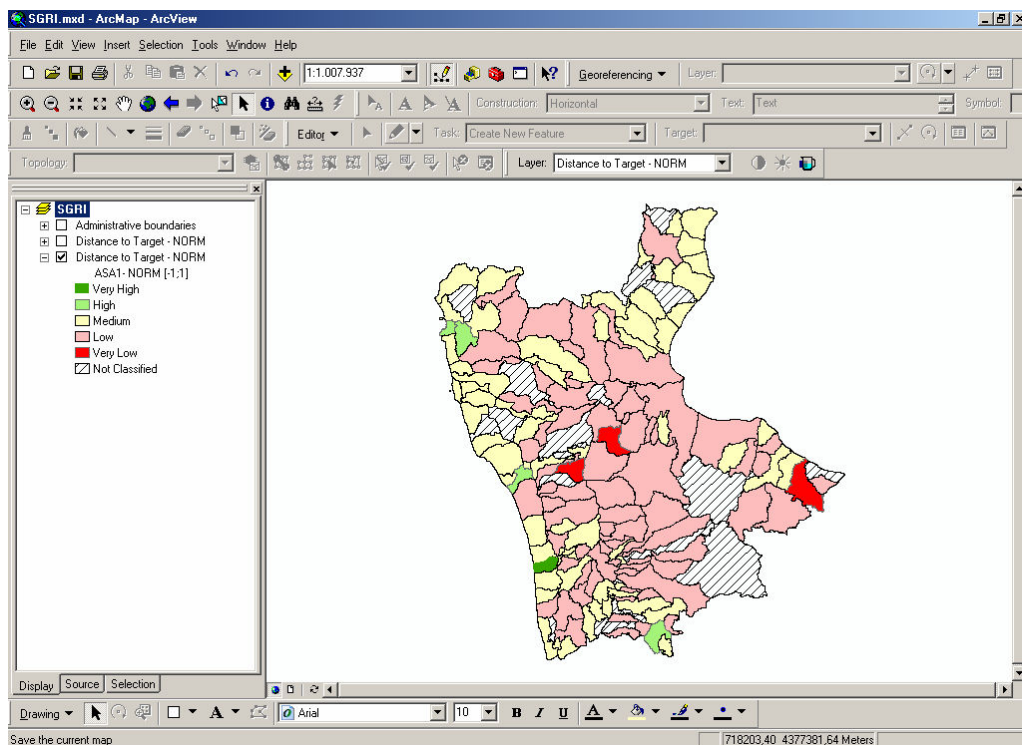


Figura 3.8 Mappa GIS per il tema ASA1 "Acquedotti"

Il modello elaborato è uno strumento molto flessibile in grado di generare scenari guidati dall'utente in base alla disponibilità di dati e/o target nuovi e/o aggiornati o semplicemente variando i pesi nei passi di aggregazione. Un esempio è la possibilità di ottenere mappe associate di singoli indicatori.

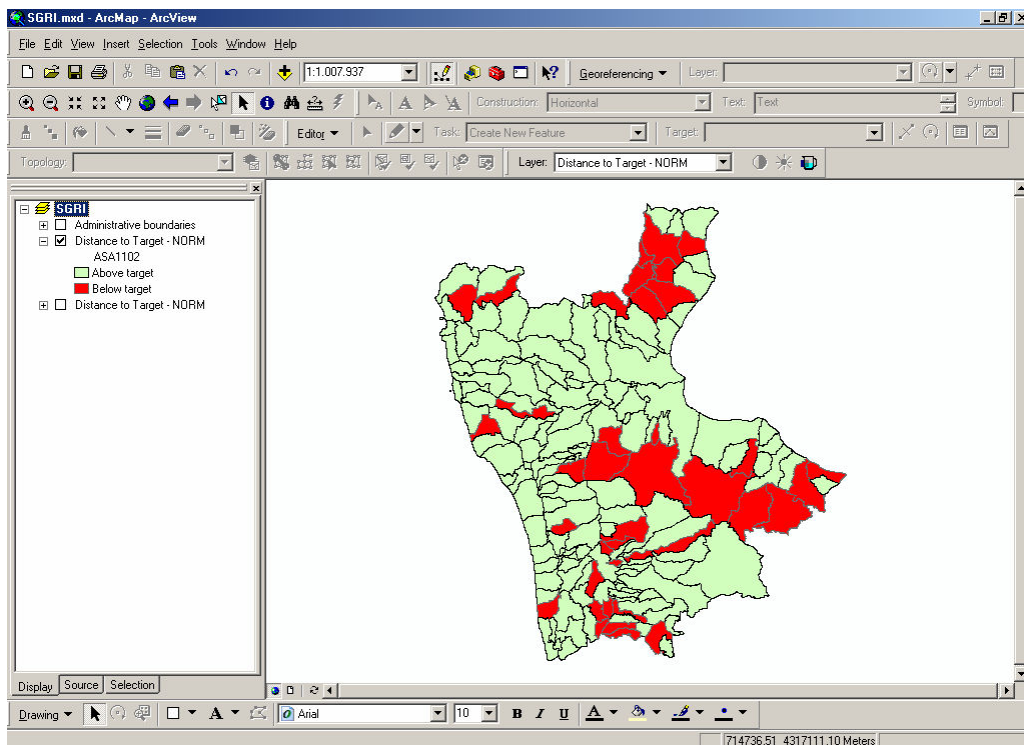


Figura 3.9 Mappa tematica GIS relativo all'indicatore ASA 1.1.2

I risultati possono essere rappresentati anche attraverso altre rappresentazioni grafiche. Nella figura successiva è mostrata la classifica dei comuni in base alle loro performance in termini di ASA1.

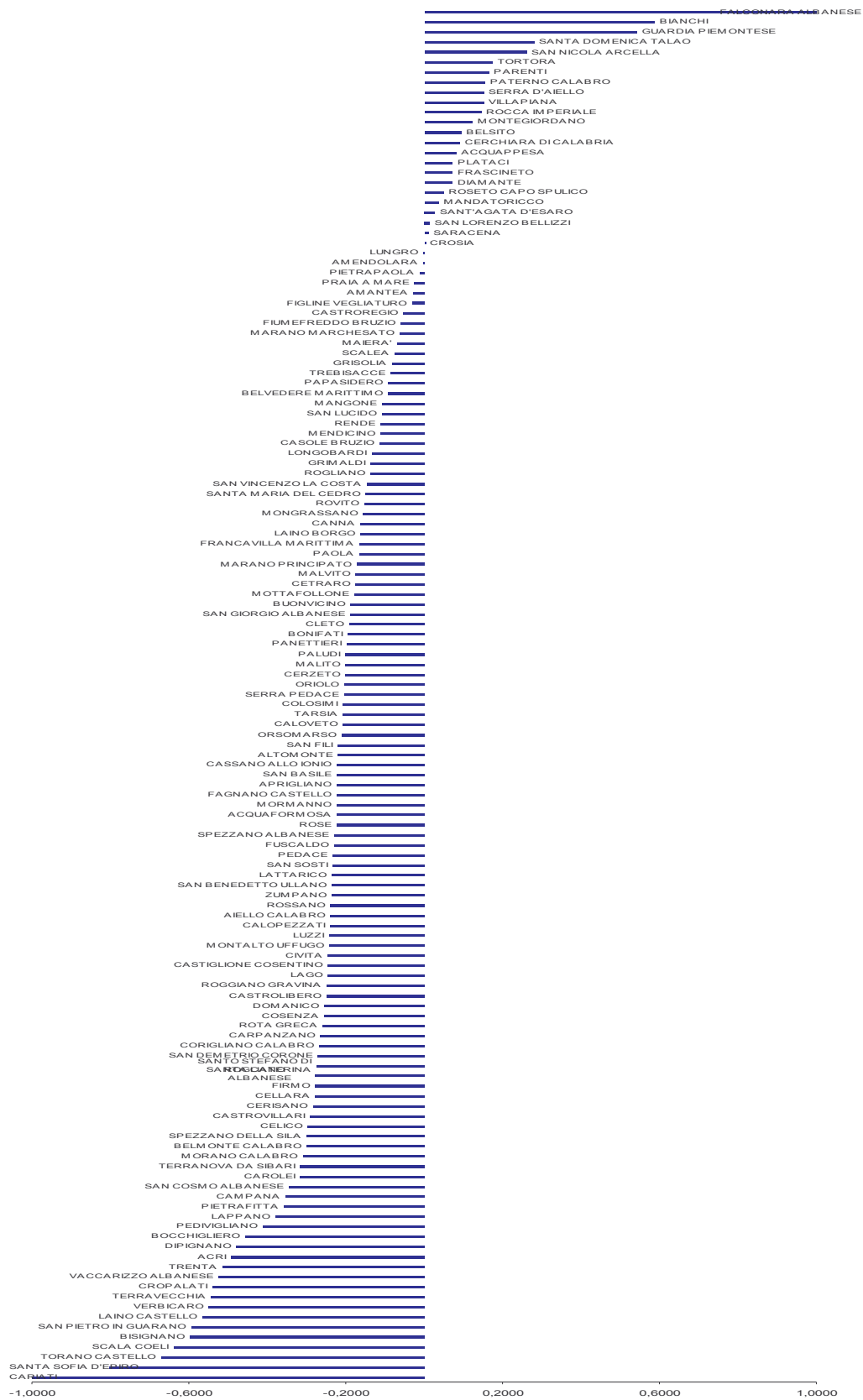


Figura 3.10 Classifica in base al tema ASA1

Lo stesso tipo di rappresentazione può essere utilizzato per mostrare le classifiche in base alle loro performance in termini di singoli indicatori elementari.

Come detto in precedenza, le ricerche sulla sostenibilità forniscono interessanti argomenti per l'innovazione nel campo della gestione delle risorse idriche e, corrispondentemente, le ricerche in materia di gestione delle risorse idriche forniscono utili indicazioni per l'individuazione dei fattori di sostenibilità.

Esigenza fondamentale in tale direzione è la possibilità di particularizzare i modelli di sostenibilità globale per la valutazione della sostenibilità della gestione delle risorse idriche a scala locale; il modello proposto S.G.R.I, pur richiedendo ulteriori approfondimenti di ricerca e l'organizzazione strutturata di raccolta di dati necessari, è stato sviluppato proprio con tale finalità cercando di calare i concetti di sostenibilità nel campo specifico, settoriale e locale della gestione delle risorse idriche a scala di Ambito Territoriale Ottimale.

Il modello sviluppato possiede un'elevata versatilità, essendo in grado di simulare diversi scenari in accordo alla disponibilità di dati nuovi e/o aggiornati, o semplicemente variando i pesi all'interno delle fasi di aggregazione.

Di notevole interesse è inoltre la possibilità di generare mappe tematiche di singoli indicatori elementari in riferimento al corrispondente target.

CAPITOLO IV

PROBLEMI DI OTTIMIZZAZIONE NELLA GESTIONE DEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO

La pianificazione, la programmazione e la gestione dei sistemi idrici deve essere orientata al soddisfacimento delle necessità e degli obiettivi connessi con l'uso di tali sistemi. Vari criteri possono essere usati per confrontare e valutare alternative differenti, tra cui l'utilizzo di indicatori capaci di misurare la variazione del livello di sostenibilità per effetto delle politiche intraprese. I modelli di sostenibilità implicano, tuttavia, anche il soddisfacimento di obiettivi di ottimizzazione, per cui altri strumenti operativi si rendono necessari per supportare i decisori nelle varie scelte tecniche e gestionali, in modo da renderli capaci di perseguire più correttamente gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

La realizzazione della gestione imprenditoriale dei sistemi idrici, per come prevista dalla normativa vigente, richiede la *definizione di ambiti territoriali di dimensioni ottimali* all'interno dei quali effettuare il servizio, e una *gestione dell'acqua* che punti al controllo delle tariffe, al soddisfacimento quali-quantitativo delle utenze, al raggiungimento e mantenimento di adeguati livelli di efficienza.

La mancanza di una visione unitaria del ciclo delle acque insieme a quella di una gestione industrializzata di tale ciclo, ha rappresentato una delle principali cause della criticità del settore idrico nel nostro Paese.

Un significativo passo in avanti è stato, tuttavia, effettuato con l'emanazione della Legge 5 gennaio 1994, n. 36, legge Galli, la quale prevede una riorganizzazione del servizio idrico, la razionalizzazione degli usi delle acque, nonché l'applicazione di un nuovo sistema amministrativo di gestione nel rispetto del principio della pubblicità delle acque e della razionalità dell'uso in osservanza all'obiettivo europeo della sostenibilità della risorsa idrica.

I principi fondamentali di tale legge possono essere così sintetizzati (*R. Vismara et al.*, 1999):

- tutte le acque sono patrimonio pubblico;
- nell'interesse della collettività deve essere salvaguardata la capacità di riproduzione delle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque;
- gli usi delle acque devono avvenire secondo criteri di solidarietà sociale, territoriale e interregionale, di compatibilità con la salvaguardia dell'ambiente, di soddisfacimento dei fabbisogni civili e produttivi con risorse di qualità appropriata, dando priorità all'uso potabile;
- l'organizzazione e la gestione dei servizi idrici che deve garantire criteri di efficacia, di efficienza e di equilibrio costi-ricavi;
- devono essere salvaguardate le aspettative e i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale.

Per avviare tale processo di riorganizzazione del sistema idrico e di costruzione del Servizio Idrico Integrato, definito come l'insieme delle opere e delle strutture di approvvigionamento, di captazione, di adduzione, di accumulo e di distribuzione delle acque ad uso civile, di fognatura e di depurazione delle acque reflue, è necessario definire preliminarmente i cosiddetti Ambiti Territoriali Ottimali, ossia quelle porzioni di territorio sulle quali effettuare l'erogazione integrata dei servizi con un'unica responsabilità pubblica di organizzazione e direzione.

Il concetto di ambito territoriale ottimale non è, in realtà, di nuova concezione, essendo già presente nella legge Merli e nella legge sulla difesa del suolo 183/89. La legge Galli, tuttavia, per prima, fornisce strumenti di indirizzo per la loro delimitazione attraverso i seguenti criteri:

- a) rispetto **dell'unità di bacino idrografico** o sub-bacino o dei bacini idrografici contigui, tenuto conto dei vincoli contenuti nei Piani regionali di risanamento, nel Piano regolatore generale degli acquedotti nonché della localizzazione delle risorse e dei loro vincoli di destinazione;
- b) superamento della **frammentazione delle gestioni**;
- c) conseguimento di **adeguate dimensioni gestionali** definite sulla base di parametri fisici, demografici, tecnici, ripartizioni politico-amministrative.

Tali criteri risultano, ovviamente, generici necessitando di ulteriori integrazioni sulla base delle peculiarità locali e regionali.

La scelta del criterio da adottare per tale delimitazione risulta, pertanto,

estremamente difficile, stante la notevole varietà ed eterogeneità dei fattori da cui dipende.

Per quanto riguarda il criterio di *unitarietà del bacino idrografico*, esso richiede l'analisi delle caratteristiche fisiche, territoriali e idrologiche della Regione, insieme agli indirizzi di pianificazione regionale di settore.

Tale criterio prevede, pertanto, l'individuazione e l'analisi delle interconnessioni possibili e necessarie fra sistema ambientale e sistema infrastrutturale, nonché l'identificazione dei vincoli necessari per l'ottimizzazione del bilancio idrico. Devono essere, pertanto, considerati la qualità delle acque superficiali e sotterranee, l'uso irriguo e idroelettrico, la subsidenza, la vulnerabilità del sistema acquifero sotterraneo, la propensione al rischio idraulico, il patrimonio naturalistico, insieme alle loro reciproche interazioni.

L'analisi di tutti tali fattori morfologici, fisici, idrologici e di pianificazione, potrebbero non portare, tuttavia, all'individuazione chiara e univoca dell'Ambito.

Perseguire l'obiettivo di ottimalità sulla base della dimensione del bacino, potrebbe essere, ad esempio, in alcuni casi, di difficile applicabilità per la vastità delle dimensioni e per la difficoltà di analizzare in modo corretto i tanti fattori da cui dipende, mentre la dimensione del sub-bacino potrebbe costituire una complicanza amministrativa poiché potrebbe sovrapporsi alle scelte di pianificazione (R. Vismara *et al.*, 1999).

Il *superamento della frammentazione delle gestioni* rappresenta un criterio per la delimitazione degli Ambiti Territoriali Ottimali ma anche un'esigenza per il miglioramento dei sistemi idrici e per la riduzione delle criticità del settore.

Prima della legge Galli il servizio di gestione del sistema idrico, era svolto da molteplici e differenti soggetti, pubblici o privati. In Italia i gestori dei servizi di distribuzione dell'acqua e di depurazione erano, infatti, migliaia, quasi uno per ogni comune. Ciò ha comportato un sistema inefficiente ed economicamente non più sostenibile caratterizzato da alti costi di gestione, da forti differenze di efficacia ed efficienza, e da un miglioramento del servizio basso in relazione ai costi richiesti per il raggiungimento di tale miglioramento.

Se si raffronta la realtà italiana con quella degli altri europei dell'Unione, si può osservare come in paesi quali Francia, Germania, Inghilterra, simili al nostro per

sviluppo e livello economico, i gestori del servizio idrico sono solamente poche decine su base nazionale.

Tale frammentazione ha determinato una serie di problemi legati alle difficoltà per tali piccoli gestori di sostenere ingenti investimenti per l'adeguamento delle infrastrutture e il miglioramento del livello di servizio; in altri casi, invece, l'assenza di un certo livello di domanda ha determinato la non convenienza dell'investimento stesso. Questo ha prodotto negativi effetti sulla possibilità di rispondere alle esigenze delle utenze attraverso l'ampliamento e l'adeguamento delle opere, l'utilizzo di tecnologie innovative, la manutenzione preventiva, ecc.

La frammentazione gestionale era caratterizzata, inoltre, anche dalla separazione dei sistemi di acquedotto, di fognatura e di depurazione, i quali sono stati, infatti, storicamente concepiti e gestiti in modo separato. La non unitarietà del ciclo delle acque ha portato alla progettazione, alla manutenzione, alla gestione delle tre filiere in modo autonomo e distinto, senza tenere conto della loro naturale interconnessione.

Il superamento di tale frammentazione gestionale, sia in termini di incremento della dimensione degli operatori del settore, sia in termini di unitarietà del ciclo delle acque, favorisce l'avvio di una gestione capace di sfruttare tutte le possibili sinergie, fino ad ora trascurate, sia a livello generale, sia specifico di settore, perseguendo economie di scala e di scopo per mezzo di tali integrazioni.

Il terzo criterio fa riferimento, per la delimitazione degli ambiti territoriali ottimali, al *conseguimento di adeguate dimensioni gestionali* definite sulla base di parametri fisici, demografici, tecnici e di ripartizione politico-amministrative.

Per definire tale dimensione bisogna considerare tutta una serie di aspetti connessi con la gestione economica dei sistemi, con la gestione territoriale e delle infrastrutture presenti, fino alla gestione tecnica e amministrativa. Ecco perché la normativa prevede il conseguimento di adeguate dimensioni gestionali sulla base di *parametri fisici*, relativi all'orografia, all'idrologia, alle caratteristiche territoriali, di *parametri tecnici*, quali opere e infrastrutture, di *parametri demografici*, legati all'estensione e alle dimensioni delle utenze, fino a *parametri relativi alla ripartizione di natura politico-amministrativa*.

Tale criterio fa riferimento, pertanto, a un insieme complesso di fattori, la cui sovrapposizione potrebbe portare alla individuazione di un'area sufficientemente

ampia su cui effettuare l'unitarietà del servizio, anche se non è possibile stabilire in modo certo e univoco quale sia la perfetta dimensione dell'area sui cui effettuare la gestione dei servizi idrici.

In generale per un ambito di gestione ampio possono essere fatte le seguenti considerazioni (*R. Vismara et al.*, 1999):

- la spesa per gli investimenti può essere ripartita su un maggior numero di utenze rendendo il costo pro capite inferiore;
- le strutture gestionali di maggiore dimensioni tendono ad avere maggiore competenza professionale;
- è più agevole l'ottimizzazione dell'uso delle risorse idriche;
- per quanto riguarda la depurazione, i grandi impianti di depurazione centralizzati presentano, in generale, maggiore efficienza operativa ed efficacia di tutela ambientale;
- impianti eccessivamente grandi possono avere maggiori problemi di impatto ambientale in ambito locale;
- gestioni unificate su aree troppo ampie sfavoriscono, nel caso soprattutto di investitori privati, la competizione commerciale, con effetti non trascurabili sui prezzi; d'altra parte, a fronte di una maggiore competitività tra gestori, ambiti di dimensioni più ridotte portano tendenzialmente a una differenziazione delle tariffe all'interno di una stessa regione e provincia in modo anche molto marcato.

Complessivamente, quindi, la delimitazione degli ambiti territoriali ottimali, rappresenta una fase estremamente complessa e delicata all'interno del processo di riorganizzazione e ammodernamento del sistema idrico. Esso ha costituito e rappresenta tuttora, in virtù delle delimitazioni provvisorie effettuate per tali ambiti, il primo problema di ottimizzazione che i decisori dovranno affrontare. E' pertanto necessario avviare studi per l'elaborazione di opportuni strumenti metodologici in grado di individuare, sulla base dei criteri di cui si è discusso sopra, la porzione di territorio più idonea per la costituzione dell'Ambito, puntando ad ottimizzare e rendere, perciò, più sostenibile, la gestione dei servizi idrici.

Delimitati gli Ambiti Territoriali Ottimali, è necessario dare l'avvio ai processi di industrializzazione dei sistemi idrici, puntando a una gestione efficiente, efficace ed

economica. In base al DPCM 4/3/96 che detta “Disposizioni in materia di risorse idriche” l’*efficienza* va intesa come la “capacità di garantire la razionale utilizzazione delle risorse idriche e dei corpi ricettori nonché di ottimizzare l’impiego delle risorse interne”. Sulla stessa linea si trova la definizione di efficienza data dal Cispel, che è quella di individuare una situazione di “ottimalità produttiva” da intendersi sia come massimizzazione del prodotto date le risorse, cioè un’*efficienza tecnologica*”, sia come scelta della combinazione produttiva tecnologicamente efficiente ossia *“efficienza gestionale”*.

Lo stesso DPCM 4/3/96 definisce l’*efficacia* come la “capacità di garantire la qualità del servizio in accordo alla domanda delle popolazioni servite e alle esigenze della tutela ambientale”. Con riferimento, invece, alla definizione Cispel questa è da intendersi come collegata alla qualità del servizio e si riferisce, quindi, alla misura in cui il prodotto reso dall’operatore pubblico soddisfa la collettività interessata. L’*efficacia* è dunque un soddisfacimento del bisogno.

L’*economicità* è, infine, una misura della redditività della gestione aziendale: è fondamentale fornire il servizio a un prezzo equo ma che consenta la remunerazione dei capitali investiti.

I problemi e le decisioni che un gestore si trova a dovere affrontare sono, pertanto, diversi e di varia natura.

Per perseguire l’obiettivo di efficienza è necessario valutare il corretto utilizzo delle risorse disponibili, considerando i fabbisogni delle utenze e la loro dislocazione, le fonti di approvvigionamento disponibili, il sistema infrastrutturale esistente. Quella distribuzione della risorsa che, sulla base dei volumi disponibili, è maggiormente in grado di rispondere alle esigenze dei diversi comparti (agricolo, industriale, potabile), con idonei costi di gestione e con la salvaguardia delle risorse stesse, costituisce senz’altro l’ottimale e sostenibile distribuzione delle risorse, cui un gestore deve tendere. Il corretto uso delle risorse presenti su un territorio potrebbe implicare una ridefinizione del sistema di approvvigionamento, il trasferimento di risorse all’interno dell’ambito, la realizzazione e/o ampliamento di parti strutturali. L’individuazione di tale ottimale distribuzione e delle modalità tecniche, progettuali e di investimento necessarie per la sua concreta realizzazione, rappresenta, quindi, uno delle prime problematiche che i gestori dovranno affrontare.

La tutela e la salvaguardia del patrimonio idrico, rappresenta un altro importante ed essenziale aspetto della gestione moderna e sostenibile delle risorse idriche. In molte realtà italiane il problema di approvvigionamento è legato all'utilizzo di risorse inquinate per effetto delle diverse attività antropiche, o alla riduzione dei volumi disponibili per il sovrasfruttamento delle fonti o per i cambiamenti nei regimi idrologici. In queste circostanze la tutela e la protezione del patrimonio idrico, richiede l'interruzione dell'utilizzo delle opere e l'avvio di procedure di bonifica. Tale possibilità potrebbe determinare, tuttavia, l'insorgere di specifici problemi di disponibilità idrica, da dover risolvere, piuttosto che con il ricorso ad alternative fonti di approvvigionamento, attraverso una ridefinizione della distribuzione delle risorse, pensando ad esempio a trasferimenti di volumi idrici, se la risorsa a scala di ambito è complessivamente sufficiente. Laddove la disponibilità complessiva fosse tale da non permettere tale ridefinizione, è necessario valutare la possibilità di ricorso a tecniche non convenzionali come il riuso di acque reflue depurate. Accanto alla realizzazione di grandi infrastrutture per la realizzazione di sistemi importanti sempre più interconnessi, infatti, a volte, in ambito locale, è possibile ricercare soluzioni di razionalizzazione e integrazione tra diverse disponibilità di risorse idriche, proprio attraverso, il ricorso a risorse idriche non convenzionali, come il riuso delle acque reflue depurate (Maiolo et al., 2004; Maiolo et al., 2006c). La tutela ambientale e dei corpi ricettori richiede, inoltre, la realizzazione o l'adeguamento delle infrastrutture di raccolta e di depurazione dei reflui.

L'efficacia della gestione richiede, ovviamente, la tendenza a un continuo miglioramento, per cui l'analisi della qualità del servizio assume particolare rilevanza. In generale per qualità del servizio si intende la capacità di soddisfare le aspettative del cliente; volendo essere più precisi possiamo però fare riferimento a cinque diverse definizioni di qualità (D. Pilolli et al., 1997):

- Qualità attesa, che è relativa alle aspettative delle utenze;
- Qualità progettata, che è quella che l'impresa si propone di erogare;
- Qualità erogata, quella che viene effettivamente erogata;
- Qualità percepita, quella percepita dagli utenti;
- Qualità comparata, quella che risulta dai confronto con altri gestori.

Non sempre la qualità erogata è pari a quella progettata, così come la qualità

percepita può essere diversa da quella erogata e addirittura lontana da quella attesa.

E' importante, allora, individuare criteri e procedure di ottimizzazione del livello di qualità del servizio erogato dall'Ente gestore individuando e quantificando i fattori che la determinano.

Gli adeguati livelli di qualità del servizio possono essere realizzati attraverso la rimozione delle diseconomie e mediante l'equilibrio tra i costi necessari per il miglioramento del sistema e i ricavi ottenuti.

Le criticità riscontrabili in un Ambito possono essere di diversa natura: di natura ambientale, se si hanno problematiche inerenti la protezione dell'ambiente e dei sistemi idrici naturali, di natura qualitativa delle risorse distribuite, se le acque distribuite non sono rispondenti ai parametri di qualità imposti dalla vigente normativa, di natura gestionale se si hanno carenze strutturali, di pianificazione e di intervento. Tali criticità sono ovviamente strettamente interconnesse, basti pensare, ad esempio, come il cattivo stato di una condotta possa provocare ingenti perdite in rete, con conseguenze riduzione della disponibilità per gli utenti, con conseguente peggioramento della qualità dell'acqua fornita, con spreco di una risorsa da proteggere e usare in modo razionale.

Per affrontare e superare tali criticità, è necessario predisporre un opportuno programma di investimenti in accordo con un piano di fattibilità economico-finanziaria. La normativa prevede, infatti, che dopo la delimitazione degli Ambiti Territoriali Ottimali e il trasferimento del patrimonio costituente il servizio idrico integrato dai diversi gestori a un unico organo, l'Ente d'Ambito, il passo successivo sia la redazione del Piano d'Ambito, ossia la programmazione delle opere di intervento, di completamento o di adeguamento, finalizzate all'utilizzo di risorse potenzialmente disponibili o destinate ad altri usi, alla riduzione delle perdite e a un incremento del risparmio idrico, al trasferimento temporaneo di risorse all'interno di un bacino o tra bacini contigui, in modo tale da soddisfare, sia in termini quantitativi che qualitativi le esigenze delle varie utenze.

La redazione di tale Piano avviene attraverso una fase di inquadramento e una fase di effettiva redazione dello stesso. Nella fase di inquadramento si cerca di armonizzare il Piano d'Ambito con i piani di coordinamento, con la pianificazione delle risorse idriche per quanto riguarda la potenzialità, la vulnerabilità, la qualità

delle acque e il relativo bilancio idrico, con la pianificazione della possibilità di risparmio idrico, e del riutilizzo delle acque reflue, con la pianificazione dell'eventuale tipo di gestione. Primo passo per la redazione è invece, un censimento delle risorse presenti nell'unità territoriale per passare poi alla progettazione degli interventi.

Dopo aver ricavato, attraverso la ricognizione delle opere, tutte le informazioni relative all'Ambito e dopo aver analizzato la situazione e le criticità in esso presenti, occorre quantificare gli obiettivi da raggiungere. La differenza tra la situazione dell'Ambito e gli obiettivi fissati costituisce una misura degli interventi da realizzare e dei costi da sostenere per garantire gli standard desiderati. Tali standard da raggiungere riguardano sia aspetti tecnici degli impianti, sia aspetti più propriamente gestionali.

Secondo la legge Galli, i livelli minimi di servizio da garantire devono essere definiti attraverso la Convenzione di gestione stipulata tra l'Ente d'Ambito e il soggetto gestore.

Le definizioni di tali livelli sono di diversa natura. Si hanno, infatti, livelli di standard resi obbligatori dalla normativa vigente, come ad esempio quelli per i parametri di qualità delle acque (D.lgs 31/01), oppure livelli di standard previsti da normative e regolamenti i cui tempi di attuazione devono essere individuati nel programma degli interventi, come i livelli minimi di servizio previsti dal DPCM 4/3/96. Esistono poi dei livelli di servizio previsti dallo "Schema generale di riferimento per la predisposizione della Carta del Servizio Idrico Integrato" che il gestore dovrà raggiungere e mantenere, e infine dei livelli di servizio che possono essere fissati dall'Ente d'Ambito sulla base delle peculiari esigenze presenti nell'Ambito stesso.

Individuate le criticità, i livelli e gli obiettivi da raggiungere, viene redatto il Piano con gli investimenti da effettuare, insieme ad un piano tariffario.

La Normativa definisce la tariffa come il "corrispettivo del servizio idrico"; essa è, quindi, determinata in base a quella che è la qualità della risorsa e del servizio offerto alle utenze, ma anche in funzione dei costi di gestione. Tale tariffa è suddivisa in fasce di utenza e territoriali ed è fissata dagli Enti locali in base anche al Piano economico-finanziario. Essa è determinata tramite il Metodo Normalizzato, il

quale prevede, una volta definiti gli investimenti, di ricavare una tariffa di riferimento legata ai costi di ammortamento, alla remunerazione del capitale investito, al tasso di inflazione, alla tariffa e al limite di prezzo dell'anno corrente oltre ai costi operativi riferiti all'anno precedente. La tariffa di riferimento serve come confronto, per ottenere la tariffa reale media del primo anno; mentre per gli anni successivi, si utilizza una formula, che permette di stimare la tariffa dell'anno generico, in base a quella dell'anno precedente. Tale sistema si basa, quindi, sul principio che l'incremento tariffario annuale debba essere effettuato sulla base di un piano di investimenti finalizzato all'incremento degli standard quantitativi e qualitativi del servizio e al recupero di efficienza da parte del gestore stesso.

La necessità di affrontare differenti e consistenti investimenti, determina due tipologie di problematiche di ottimizzazione. La prima è legata alla necessità di individuare dei criteri prioritari di investimento, in modo da ridurre nel breve periodo le maggiori criticità. In tale direzione, il maggior livello di scostamento di alcune criticità dai livelli accettabili di sostenibilità, può essere considerato elemento di riferimento per l'individuazione dai tale priorità. Altra problematica è legata al raggiungimento dell'equilibrio costi-ricavi, ossia alla difficile armonizzazione tra i costi di investimento, i ricavi del gestore e lo sviluppo tariffario. Questo, che è senz'altro uno dei nodi più complessi del processo di modernizzazione della gestione dei sistemi idrici, richiede l'elaborazione di modelli in grado di ottimizzare tutti i fattori, fino al raggiungimento di una variazione tariffaria capace di realizzare il programma degli investimenti e di portare i servizi di acquedotto, fognatura e depurazione a livelli elevati di efficienza ed efficacia, con un proporzionale onere per gli utenti.

Da quanto finora detto si evince che la riorganizzazione dei sistemi idrici e l'avvio di una gestione industriale dell'acqua, insieme alla necessità ormai improrogabile di una gestione sostenibile di tali sistemi, ha portato alla nascita di tutta una serie di problematiche di natura tecnica, gestionale, sociale e ambientale.

La gestione di un sistema complesso, come quello idrico, richiede l'analisi e la scelta tra differenti soluzioni di intervento. I decisori, sono pertanto, chiamati a dover scegliere, tra diverse possibili alternative, quella che meglio si adatta a rispondere al problema in esame e che, al tempo stesso, risponda ai criteri di sostenibilità. Per fare

questo, i decisori hanno bisogno di opportune procedure di valutazione e confronto tra le diverse alternative, per definire poi in modo corretto la soluzione ottimale.

Dal punto di vista matematico, tale problema non è altro che un problema di ottimizzazione che può essere risolto attraverso il ricorso agli strumenti metodologici della Ricerca Operativa. Nata in ambito militare, la Ricerca Operativa, che ha come oggetto lo studio e l'elaborazione di metodologie e strumenti quantitativi per la risoluzione de problemi decisionali, ha immediatamente trovato applicazione in diversi campi e settori. Nell'ambito della gestione ambientale e delle risorse idriche, dove è necessario prendere decisioni sull'uso di risorse da tutelare o disponibili in quantità limitate, in modo da rispettare un insieme di vincoli, lo studio di tali tecniche di modellizzazione e ottimizzazione risulta estremamente importante per la corretta risoluzione di innumerevoli problemi.

Per tali motivi, nell'ultima parte della presente attività di ricerca, si è cercato di individuare e adattare i concetti e le metodologie di tale disciplina al campo della gestione delle risorse idriche, individuando possibili procedure da utilizzare per affrontare in modo corretto i problemi di ottimizzazione del servizio idrico integrato. In particolare, il cosiddetto Problema dei trasporti, che è un classico problema di ottimizzazione della ricerca operativa, è stato utilizzato e particolarizzato per l'elaborazione di un modello di ottimizzazione della distribuzione delle risorse idriche sul territorio.

CAPITOLO V

RICERCA OPERATIVA

5.1 ORIGINI E CAMPI DI APPLICAZIONE DELLA RICERCA OPERATIVA

I sistemi di produzione e servizio sono sempre più caratterizzati da un crescente livello di complessità organizzativa e, di conseguenza, decisionale. Tale complessità richiede inevitabilmente, l'utilizzo di tecniche quantitative che aiutino i decisori a trasformare la grande massa di informazioni prodotta dalla crescente informatizzazione aziendale in decisioni operative (*Sassano, 1999*).

Fin dall'avvento della Rivoluzione Industriale si è assistito a un rimarcabile aumento delle dimensioni e della complessità delle organizzazioni. Un problema correlato all'incremento della complessità e delle specializzazioni di un'organizzazione, è il sensibile aumento della difficoltà nella allocazione delle risorse disponibili alle varie attività nella maniera più funzionale per l'intera organizzazione. Questi tipi di problemi e la necessità di trovare il miglior modo di risolverli hanno creato le condizioni per la nascita della **ricerca operativa** (*Hillier & Lieberman, 2005*).

La ricerca operativa costituisce una disciplina relativamente recente che si occupa dello sviluppo e dell'applicazione di metodi scientifici per la soluzione di molteplici e differenti problemi decisionali. Nel momento di prendere delle decisioni ossia di scegliere la "migliore" alternativa tra quelle disponibili l'uomo si avvale sempre di un modello che possiamo definire come una rappresentazione semplificata ma efficace della realtà. Quanto detto non fa riferimento a problemi decisori di tipo particolare ma, al contrario, proprio per la sua estrema generalità si adatta a problemi provenienti da discipline molto differenti tra di loro (ingegneria, economia, medicina, ecc.) (*Brioschi & Colorni, 1973*).

Le origini della RO possono essere fatte risalire a parecchi decenni fa, con i primi tentativi di utilizzare un approccio scientifico alla gestione delle organizzazioni. Tuttavia, la nascita del settore denominato ricerca operativa è generalmente attribuito

alle forze armate al tempo della Seconda Guerra Mondiale, quando si avviarono studi volti alla determinazione di criteri di efficiente utilizzo di risorse limitate usando tecniche quantitative per risolvere problemi strategici e tattici. Alla fine della guerra, i successi della ricerca operativa nelle vicende belliche suscitarono un grande interesse nella sua applicazione anche al di fuori degli ambienti militari. Dagli inizi degli anni Cinquanta, è stato introdotto l'utilizzo della ricerca operativa in svariate organizzazioni operanti nel campo imprenditoriale, dell'industria e della pubblica amministrazione e si assistette in breve a una rapida espansione della RO (Hillier & Lieberman, 2005).

La ricerca operativa è una disciplina che si occupa della “ricerca nelle operazioni”. Essa è, quindi, applicata a problemi che riguardano le metodologie di gestione e di coordinamento delle operazioni nell'ambito di un'organizzazione. La natura specifica delle operazioni è ininfluente e, di fatto, la ricerca operativa ha trovato applicazione in differenti aree come quella manifatturiera, dei trasporti, delle costruzioni, delle telecomunicazioni, della finanza, della sanità, della difesa e dei pubblici servizi (Hillier & Lieberman, 2005).

Oggi, pertanto, molteplici problemi possono essere risolti attraverso la ricerca operativa, tra i quali (Mannino *et al.*, 1998):

- Problemi in ambito industriale:

- *pianificazione della produzione:*

si tratta di determinare i livelli di produzione e/o l'utilizzazione di risorse; si hanno spesso problemi di allocazione ottima di risorse cioè problemi riguardanti la distribuzione di risorse limitate tra alternative concorrenti in modo da minimizzare il costo complessivo o massimizzare il guadagno totale; tali risorse possono essere materie prime, manodopera, tempi di lavoro su macchine, capitali investiti.

- *gestione ottima delle scorte:*

si tratta di organizzare un magazzino nella gestione di materiali grezzi, prodotti in lavorazione etc.; cioè di decidere quando e quanto, durante un processo produttivo, si devono immagazzinare prodotti in modo da

rispettare le consegne minimizzando i costi, oppure se e quando conviene riordinare materiali in modo da ottenere il miglior compromesso tra costi di acquisto, di produzione e di immagazzinamento.

- *localizzazione e dimensionamento di impianti:*

sono problemi in cui si deve decidere dove installare impianti di produzione in modo da rifornire in modo ottimale aree distribuite su un territorio, oppure decidere dove costruire le stazioni base di una rete di telecomunicazioni (GSM/UMTS) per coprire il territorio e con quale potenza esse devono trasmettere.

- Problemi di progettazione ottima:

- *progettazione di reti e loro gestione:*

si tratta di definire i collegamenti e dimensionare le capacità di una rete di telecomunicazione, di trasmissione dati, di circuiti, in modo da garantire il traffico tra le varie origini e destinazioni e minimizzare il costo complessivo;

- *progettazione strutturale:*

si tratta di problemi che nascono nell'ingegneria civile, industriale, nella meccanica aeronautica, etc. e hanno come scopo quello di definire un progetto di un edificio, di un ponte in modo che meglio resistano a sollecitazioni derivanti da vari agenti (terremoti, venti forti) oppure del profilo di un'ala di un aereo in modo che, ad esempio, sia massimizzata la portanza;

- *progettazione di sistemi ottici, progettazione di robot:*

si vuole ottenere un progetto che risponda a requisiti tecnici prefissati massimizzando alcuni parametri legati, ad esempio, alla precisione o alla prestazione;

- *allocazione ottima di componenti elettronici (VLSI design):*
si tratta di disegnare una piastra madre in modo che, ad esempio, siano minimizzate le lunghezze dei percorsi dei segnali elettrici;
- Problemi di economia e finanza:
 - *scelta di investimenti:*
si deve scegliere fra un vasto numero di possibilità di investimento quali realizzare rispettando i vincoli imposti da un budget finanziario e massimizzando il guadagno;
 - *composizione di un portafoglio:*
è il problema di decidere quali titoli e con quali quote investire capitali in modo da massimizzare il ricavo oppure minimizzando il rischio;
- Problemi di organizzazione:
 - *determinazione dei turni del personale:*
si tratta di coprire una serie di servizi rispettando i vincoli di contratto aziendale e minimizzando i costi, come, ad esempio, l'assegnamento di personale viaggiante ai treni o degli equipaggi ai voli in modo da minimizzare il numero dei viaggi necessari per far tornare il personale nella propria sede;
 - *manutenzione di beni:*
cioè il problema di decidere quando e se effettuare la manutenzione di alcuni oggetti soggetti ad usura con il tempo, in modo da minimizzare il costo complessivo;
 - *istadamento di veicoli:*
si deve decidere quali percorsi devono seguire i veicoli di un flotta (ad esempio di automezzi adibiti alla raccolta dei rifiuti o alla distribuzioni di

prodotti a una rete di negozi) in modo da minimizzare la distanza complessiva percorsa;

- *project planning*:

si tratta di decidere come gestire le risorse e come sequenziare le molteplici attività di un progetto;

- Problemi scientifici:

- *studi sulla struttura del DNA*:

si tratta di problemi legati alla determinazione della sequenze di geni minimizzando la probabilità di errore;

- *ricostruzione di immagini*:

è il problema della visualizzazione delle informazioni provenienti, ad esempio, da un satellite oppure da una tomografia computerizzata, in modo da ottenere un'immagine della migliore qualità possibile;

- Problemi di diagnostica medica.

- *interpretazione e analisi dei dati ottenibili da strumenti di analisi clinica*.

- Problemi di controllo ottimo:

- *controllo di servomeccanismi e di sistemi di guida*;

- *controllo di traiettorie*.

Tuttavia i metodi della Ricerca Operativa sono oggi utilizzati anche in settori lontani dagli ambiti più tradizionali come le scienze sociali, la biologia, le scienze ambientali e moltissimi altri.

La ricerca operativa si fonda su un approccio modellistico organizzando l'analisi di un problema reale attraverso la sua rappresentazione in un modello matematico che ne sintetizza gli aspetti essenziali, e lo sviluppo di metodi matematici efficienti in grado di determinarne una soluzione ottima. Stante la varietà di fattori e di aspetti

che entrano in gioco in un problema decisionale reale, la ricerca operativa presenta necessariamente un carattere interdisciplinare; le tecniche di cui fa uso, infatti, sono diverse e provengono da diverse branche della matematica: dall'algebra lineare alla logica, dalla statistica alla teoria dei giochi, dalla teoria delle decisioni alla teoria dei sistemi. Questo ha prodotto lo sviluppo di metodologie di soluzione che rappresentano un'inusuale combinazione di tecniche e strumenti tipici di altri settori.

5.2 MODELLI DELLA RICERCA OPERATIVA

Molti processi decisionali affrontati nell'ambito della ricerca operativa si avvalgono, per l'individuazione della migliore soluzione tra tutte le alternative disponibili, di modelli rappresentanti in maniera semplificata la realtà. Tra i vari modelli grande importanza rivestono i modelli matematici poiché permettono di valutare molteplici scelte alternative e di ottenere soluzioni rapide con un elevato grado di precisione. Le fasi tipiche di uno studio di ricerca operativa possono essere così riassunte (*Hillier & Lieberman, 2005*):

1. definizione del problema e raccolta dei dati;
2. formulazione del modello matematico che rappresenta il problema;
3. sviluppo di un software che determini le soluzioni del problema partendo dal modello;
4. test del modello ed eventuali affinamenti;
5. predisposizione di un sistema di supporto all'applicazione pratica del modello;
6. implementazione.

5.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati

La maggior parte dei problemi reali sono inizialmente descritti in modo vago e impreciso. Di conseguenza, il primo passo è studiare il relativo sistema e sviluppare una precisa formulazione del problema in esame. Ciò comporta la determinazione di ciò che si deve includere tra gli obiettivi, delle limitazioni su ciò che può essere fatto, delle relazioni tra il settore in esame e gli altri a esso collegati, delle possibili alternative di sviluppo, dei limiti di tempo per prendere una decisione e così via.

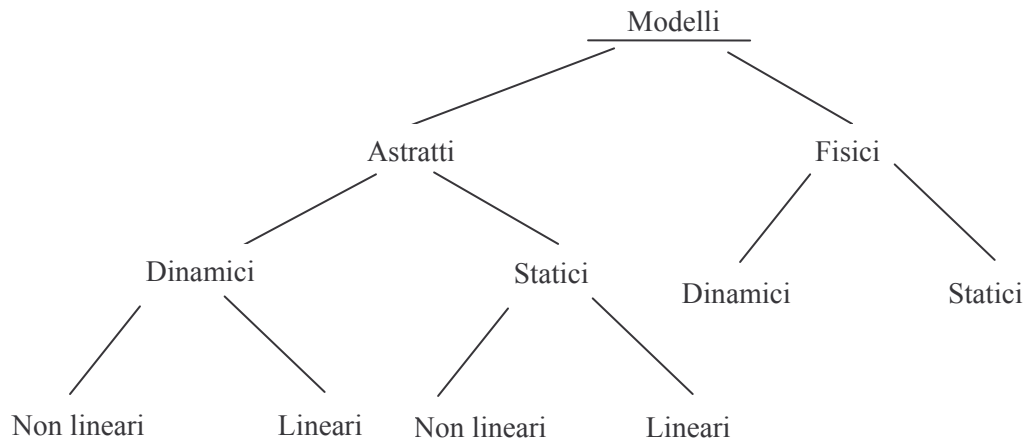
La raccolta dei dati necessari alla soluzione di un problema a volte richiede

l'impiego di un tempo significativo. La maggior parte di questi dati sono necessari sia per ottenere una più accurata conoscenza del problema sia per fornire gli input necessari alla formula del modello matematico. Spesso, però, nella fase iniziale dello studio molti dati non sono disponibili, perché le informazioni non sono state mai raccolte o perché i dati raccolti non sono più validi o perché si trovano in formato inutilizzabile. Così, è spesso necessario implementare un nuovo sistema automatizzato per la gestione delle informazioni in modo da raccogliere via via i dati necessari nella forma appropriata. Negli ultimi anni, la sempre maggiore diffusione di database e la crescita delle loro dimensioni, ha fatto sì che il maggior problema non consista più nella scarsa disponibilità di dati ma, al contrario, nella ricerca di dati coerenti nell'ambito di una naturale mole di dati. In questo contesto, localizzare dei dati particolarmente importanti e isolare tra di loro dei campioni utili può diventare un compito oneroso. La recente tecnica del *data mining* è generalmente usata per affrontare in modo corretto tale tipologia di problema (Hillier & Lieberman, 2005).

5.2.2 Formulazione del modello matematico

Analizzato il problema in esame occorre riformularlo in maniera più adatta a essere definito. L'approccio comunemente usato è quello di costruire un modello matematico che rappresenti l'essenza del problema stesso. I modelli sono rappresentazioni astratte della realtà che giocano un ruolo molto importante nelle scienze, negli affari, ecc. Anche i modelli matematici sono rappresentazioni astratte, ma sono espressi mediante simboli ed espressioni matematiche. Così, se n indica il numero di valutazioni quantitative che devono essere compiute, queste possono essere rappresentate mediante n **variabili decisionali** x_1, x_2, \dots, x_n , i cui valori devono essere determinati. L'appropriata misura delle prestazioni è espressa mediante una funzione matematica delle variabili decisionali. Questa funzione è chiamata **funzione obiettivo**. Anche le eventuali restrizioni sui valori che possono essere assegnati alle variabili sono espresse in forma matematica per mezzo di equazioni e/o disequazioni chiamate **vincoli**. Le costanti che figurano nei vincoli e nella funzione obiettivo sono dette **parametri del modello**. Il problema è determinare i valori delle variabili decisionali in modo da massimizzare la funzione obiettivo, soggetta ai vincoli specificati (Hillier & Lieberman, 2005).

Esistono diversi tipi di modelli che possono essere classificati a seconda della loro natura (De Julio & La Bella, 1979).



I modelli matematici offrono parecchi vantaggi tra i quali quello di descrivere un problema in maniera concisa. Questo rende l'intera struttura del problema più comprensibile e permette di scoprire le relazioni causa-effetto, semplificando la gestione del problema nella sua interezza e permettendo la valutazione di tutte le sue interrelazioni simultaneamente. Infine, un modello matematico costituisce un ponte tra l'uso delle tecniche matematiche avanzate e i computer per l'analisi del problema. Infatti, pacchetti software sviluppati per personal computer e mainframe sono ormai disponibili per risolvere molti modelli matematici.

Poiché i modelli matematici sono un'astrazione ideale del problema, particolare attenzione deve essere adottata al fine di garantire che il modello rimanga una rappresentazione valida del problema. E' necessario, quindi, assicurare che ci sia un'elevata corrispondenza tra quanto predetto dal modello e ciò che dovrebbe accadere nel mondo reale. Per assicurare ciò, è importante verificare e di conseguenza modificare il modello. Nello sviluppo di un modello, un buon approccio è sicuramente quello di partire da una versione semplificata per poi muoversi verso modelli più elaborati che possono rispecchiare più fedelmente la complessità del problema reale.

Un passo cruciale nella formulazione di un modello di ricerca operativa è la

costruzione della funzione obiettivo. Questo richiede lo sviluppo di una misura quantitativa delle prestazioni relativamente a ciascuno degli obiettivi finali; se ci sono obiettivi multipli, le loro misure relative sono trasformate e combinate in una misura composita, chiamate **misura complessiva della prestazione** (Hillier & Lieberman, 2005).

5.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello

Una volta formulato il modello matematico per un dato problema, la successiva fase è quella di sviluppare una procedura che determini le soluzioni del problema. Si potrebbe pensare che questa fase costituisca la parte predominante, ma non sempre ciò corrisponde al vero: talvolta, infatti, è un compito relativamente semplice, come nel caso in cui si applicano algoritmi standard di ricerca operativa utilizzando uno o più pacchetti software largamente diffusi.

Un tema comune in ricerca operativa è quello di ricercare le soluzioni migliori o ottime per un dato problema. E' necessario, tuttavia, tenere presente che queste soluzioni sono ottime solo in relazione al modello per il quale sono state ottenute. Poiché il modello ha necessariamente una natura astratta piuttosto che essere una esatta riproduzione del problema reale, non può esistere alcuna garanzia che la soluzione ottima per il modello sia effettivamente la migliore possibile anche nel caso reale. Tuttavia, se il modello è ben formulato e testato, la soluzione determinata costituirà una buona approssimazione di quella reale. Lo scienziato Herbert Simon (Hillier & Lieberman, 2005) ha evidenziato come, nella pratica attuale, la *satisficing* sia molto più diffusa dell'ottimizzazione. Coniando il termine *satisficing* come unione delle parole *satisfactory* (soddisfacente) e *optimizing* (ottimizzare), Simon vuole descrivere la tendenza dei manager alla ricerca di soluzioni che siano "abbastanza buone" per il problema da risolvere. Piuttosto che tentare di sviluppare una misura generale delle prestazioni per armonizzare i differenti obiettivi richiesti può essere utilizzato un approccio più pragmatico: l'obiettivo può essere quello di stabilire livelli minimi soddisfacenti di prestazione nelle varie aree e se viene determinata una soluzione che permette di raggiungere tutti gli obiettivi prefissati essa verrà verosimilmente adottata. Per tali motivi, l'analisi postottimale, da effettuare dopo aver determinato una soluzione ottima, rappresenta una parte molto

importante e significativa della ricerca operativa (*Hillier & Lieberman, 2005*).

5.2.4 Test e validazione del modello

Lo sviluppo di un modello matematico è caratterizzato da un prima versione certamente non esente da difetti. Sicuramente alcuni elementi rilevanti saranno stati trascurati e qualche parametro non sarà stato stimato correttamente. Prima che un modello possa essere utilizzato dovrà essere, quindi, completamente testato per cercare e correggere quanti più errori possibile. Dopo una serie di successive approssimazioni si otterrà un modello che fornisce risultati ragionevolmente validi. Nonostante alcuni difetti minori rimangano senza alcun dubbio nascosti nel modello, la maggior parte delle imperfezioni saranno state eliminate e il modello potrà quindi essere utilizzato. Questo processo di miglioramento del modello è comunemente chiamato **validazione del modello**. E' difficile descrivere come effettuare la validazione del modello poiché tale processo dipende, in larga misura, dalla natura del problema in esame e dal modello utilizzato. In generale strumenti per la validazione del modello sono un riesame della definizione del problema e una comparazione con il modello al fine di individuare eventuali malintesi e il controllo di tutte le espressioni matematiche per valutare che siano dimensionalmente consistenti e che le unità di misura risultino corrette. Ulteriori informazioni sulla validità del modello possono, talvolta, essere ottenute variando i valori dei parametri e/o delle variabili decisionali e controllando se i risultati presentano un comportamento plausibile.

Un approccio più sistematico alla fase di verifica del modello è il metodo denominato **test retrospettivo**. Quando applicabile, tale test consiste nell'utilizzo dei dati storici per ricostruire il passato e determinare, quindi, l'accuratezza del modello e delle relative soluzioni in condizioni già note. Il confronto tra le ipotetiche prestazioni ottenute e quelle realmente avute indica, quindi, se l'utilizzo del modello conduce a un significativo miglioramento delle procedure correnti (*Hillier & Lieberman, 2005*). In tale fase di calibrazione del modello vengono tarati i valori numerici dei parametri e, qualora risulti necessario, possono essere modificate o aggiunte alcune relazioni tra le variabili. Ovviamente l'utilizzo di dati storici è lecito solo se il comportamento passato del sistema può essere considerato a ragione

sufficientemente rappresentativo del comportamento futuro (*De Julio & La Bella, 1973*).

5.2.5 Predisposizione di un sistema di supporto all'applicazione pratica del modello

Dopo il completamento della fase di verifica, se il modello deve essere utilizzato più volte, il passo successivo consiste nel predisporre un ben documentato sistema di supporto del modello nella maniera richiesta dal management. Questo sistema comprende il modello, i processi per ottenere le soluzioni e le procedure operative per l'implementazione dei risultati ottenuti. Questo sistema è normalmente automatizzato e utilizza svariati software. Database e sistemi per la gestione delle informazioni possono fornire dati aggiornati al modello ogni qualvolta questo venga impiegato. Dopo l'applicazione di una procedura risolutiva per il modello altri programmi possono procedere automaticamente all'implementazione dei risultati ottenuti. In altri casi, viene creato e reso disponibile un sistema di supporto alle decisioni (decision support system) talora interattivo per coadiuvare i manager nel prendere le loro decisioni (*Hillier & Lieberman, 2005*).

5.2.6 Implementazione del sistema

Dopo lo sviluppo di un sistema di supporto per l'applicazione del modello, l'ultima fase di uno studio di ricerca operativa consiste nell'implementazione di tale sistema come richiesto dal management. La fase di implementazione si divide in diversi passi. Il primo consiste nel fornire alla direzione operativa un'accurata descrizione del nuovo sistema da adottare e di come questo si relazioni con le preesistenti realtà operative. Successivamente verranno esaminate le esperienze iniziali della nuova linea di condotta intrapresa e si cercherà di individuare le eventuali modifiche da effettuare nel futuro. Durante l'intero periodo nel quale il nuovo sistema è in uso è molto importante continuare a raccogliere informazioni sul sistema stesso e controllare se le ipotesi formulate nel modello continuano a essere soddisfatte. Qualora si presentassero significative variazioni sui presupposti iniziali, il modello dovrà essere sottoposto a nuova verifica al fine di determinare eventuali modifiche da apportare al sistema (*Hillier & Lieberman, 2005*).

5.3 PROGRAMMAZIONE LINEARE

Un problema di programmazione matematica si può formulare come (Fischetti, 1999):

$$\begin{cases} \min f(x) \\ x \in X \end{cases},$$

ove $X \subseteq \mathfrak{R}^n$ è l'insieme delle soluzioni ammissibili e $f : X \rightarrow \mathfrak{R}$ è la **funzione obiettivo**.

La convenzione è quella di formulare ogni problema come problema di minimo operando eventualmente la sostituzione:

$$\max \{f(x) : x \in X\} = -\min \{-f(x) : x \in X\}$$

Un problema per il quale non esiste una soluzione ammissibile ($X = \emptyset$) si dice **impossibile**; conveniamo in questo caso di scrivere $\min \{f(x) : x \in X\} = +\infty$.

Si dirà poi **illimitato** un problema per il quale f non è limitata inferiormente in X ; scriveremo in questo caso $\min \{f(x) : x \in X\} = -\infty$.

Risolvere il problema significa individuare una *soluzione ottima*, se esiste, cioè una soluzione $x^* \in X$ tale che $f(x^*) \leq f(x)$ per ogni $x \in X$. Questa soluzione non è necessariamente unica.

Una soluzione $\bar{x} \in X$ si dice localmente ottima se esiste $\varepsilon > 0$ tale che $f(\bar{x}) \leq f(x)$ per ogni $x \in X$ con $\|x - \bar{x}\| \leq \varepsilon$.

Nel caso in cui la funzione obiettivo e le funzioni che esprimono i vincoli sono lineari si parla di **programmazione lineare** (LP).

Se la funzione obiettivo è quadratica e le funzioni che esprimono i vincoli sono lineari, il modello viene indicato come problema di **programmazione quadratica**. Si parla, invece, di programmazione stocastica quando alcuni dei parametri rappresentano variabili casuali soggette a specifiche distribuzioni di probabilità. Un

problema di **programmazione lineare intera** (ILP) è, invece, una variante del problema di programmazione lineare in cui si ha il vincolo che tutte le variabili siano intere, mentre un problema di **programmazione lineare mista** è la generalizzazione di LP e ILP in cui solo un sottoinsieme delle variabili devono essere intere.

Se invece, le variabili devono assumere solo i valori $\{0,1\}$ si parla di **programmazione booleana**.

La programmazione lineare è indubbiamente l'argomento centrale dell'ottimizzazione. Fra i vari modelli di ricerca operativa la programmazione lineare, infatti, è quello che è stato più ampiamente utilizzato. Non solo si applica a numerosi problemi reali che hanno di per sé una struttura lineare, ma è anche un indispensabile strumento di supporto, tecnico e concettuale, per modelli più complessi di tipo discreto, quali quelli di ottimizzazione combinatoria oppure di programmazione lineare intera (*Serafini, 2004*).

Il più comune tipo di applicazione della programmazione lineare riguarda il problema generale della allocazione di risorse limitate tra attività concorrenti nel modo migliore possibile. Più precisamente, questo problema affronta la scelta del livello per attività che competono tra loro per l'utilizzo delle poche risorse disponibili, indispensabili alla realizzazione delle attività stesse. La scelta dei livelli delle attività determina, allora, quanta parte di ogni risorsa verrà utilizzata per ciascuna attività (*Hillier & Lieberman, 2005*).

Un particolare simbolismo è comunemente utilizzato per rappresentare le varie parti di un modello di programmazione lineare (*Hillier & Lieberman, 2005*):

- Z = valore della misura globale di rendimento;
- x_j = livello di attività j (per $j = 1, 2, \dots, n$);
- c_j = variazione del valore di Z determinata da ogni incremento unitario del livello di attività j ;
- b_i = quantità della risorsa i disponibile per l'allocazione alle varie attività (per $i = 1, 2, \dots, m$);
- a_{ij} = quantità della risorsa i consumata da una unità di attività j .

Le variabili x_1, x_2, \dots, x_n sono denominate variabili decisionali; i valori di c_j, b_i e a_{ij} sono delle costanti in input al modello, indicate anche come i parametri del

modello.

Un problema di programmazione lineare può essere scritto come:

$$\text{massimizzare } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

con i vincoli

$$a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} \leq b_1$$

$$a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{2n}x_{2n} \leq b_2$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_{m1} + a_{m2}x_{m2} + \dots + a_{mn}x_{mn} \leq b_m$$

e

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots, \quad x_n \geq 0$$

La funzione da massimizzare è la funzione obiettivo, i primi m vincoli sono talvolta chiamati *vincoli funzionali* mentre le restrizioni $x_j \geq 0$ sono chiamate *vincoli di non negatività*.

Il modello precedente può non essere adatto alla forma naturale di qualche problema di programmazione lineare. Le variazioni legittime sono:

- Minimizzazione piuttosto che massimizzazione della funzione obiettivo:

$$\text{minimizzare } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

- Alcuni vincoli funzionali con un differente verso della disuguaglianza:

$$a_{i1}x_{i1} + a_{i2}x_{i2} + \dots + a_{in}x_{in} \geq b_i$$

- Alcuni vincoli funzionali in forma di eguaglianza:

$$a_{i1}x_{i1} + a_{i2}x_{i2} + \dots + a_{in}x_{in} = b_i$$

- Eliminazione dei vincoli di non negatività per qualche variabile decisionale:

x_j senza limitazioni di segno per qualche valore di j

In generale, quindi, un problema di Programmazione Lineare è un problema di programmazione matematica del tipo:

$$\begin{aligned} \min f(\mathbf{x}) &\Rightarrow \min \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ \mathbf{g}_i(\mathbf{x}) \leq 0 &\Rightarrow \begin{cases} -\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} + b_i \leq 0 & , \quad i \in \{1, \dots, m\} \\ -x_j \leq 0 & , \quad j \in \{1, \dots, n\} \end{cases} \end{aligned}$$

Raggruppando i vettori riga $\mathbf{a}_1^T, \dots, \mathbf{a}_m^T$ in una matrice $m \times n$ A si ottiene la rappresentazione compatta:

$$\min \{ \mathbf{c}^T \mathbf{x} : A\mathbf{x} \geq \mathbf{b}, \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \}$$

Un problema di programmazione lineare può essere rappresentato in vari modi equivalenti. In particolare si hanno le due formulazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ A\mathbf{x} \geq \mathbf{b} \\ \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \end{array} \right\} \qquad \left\{ \begin{array}{l} \min \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ A\mathbf{x} = \mathbf{b} \\ \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \end{array} \right\}$$

dette rispettivamente forma *canonica* e forma *standard*.

Le due formulazioni sono equivalenti, anche se il passaggio da una forma all'altra può comportare una variazione del numero di vincoli e di variabili del problema. Valgono le seguenti regole di trasformazione:

- Conversione da “max” a “min”:

$$\max \mathbf{w}^T \mathbf{x} = -\min \mathbf{c}^T \mathbf{x}, \text{ definendo } \mathbf{c}^T = -\mathbf{w}^T$$

- Conversione vincoli da “ \geq ” a “=”:

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} \geq b_i \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{a}_i^T \mathbf{x} - s_i = b_i \\ s_i \geq 0 \end{cases}$$

La nuova variabile s_i si dice *variabile surplus* per il vincolo i -esimo.

- Conversione da vincoli “ \leq ” a “=”:

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} \leq b_i \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{a}_i^T \mathbf{x} + s_i = b_i \\ s_i \geq 0 \end{cases}$$

La nuova variabile s_i si dice *variabile slack* per il vincolo i -esimo.

- Variabili x_i non vincolate in segno:

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{x}_i = x_i^+ - x_i^- \\ x_i^+ \geq 0 \\ x_i^- \geq 0 \end{cases}$$

Ogni problema di programmazione lineare può essere ricondotto a una delle seguenti forme (*Serafini, 2004*):

Forma canonica di un problema di programmazione lineare

$$\begin{array}{ll} \min & cx \\ & Ax \geq b \\ & x \geq 0 \end{array} \quad \text{oppure} \quad \begin{array}{ll} \max & cx \\ & Ax \leq b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

Forma standard di un problema di programmazione lineare

$$\begin{array}{ll} \min & cx \\ & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

La matrice A viene detta matrice dei vincoli.

Da un punto di vista matematico tutte le ipotesi della programmazione lineare consistono semplicemente nel fatto che il modello ha una funzione obiettivo lineare ed è soggetto a vincoli lineari. Tuttavia, da un punto di vista di modellazione, queste proprietà matematiche implicano che alcune ipotesi riguardanti le attività e i dati del problema modellato devono essere valide, comprese le ipotesi sull'effetto della variazione dei livelli di attività. Le ipotesi della programmazione lineare sono, pertanto:

- **Ipotesi di proporzionalità:** il contributo di ogni attività al valore della funzione obiettivo è proporzionale al livello di attività x_j , come indicato dal termine $c_j x_j$ nella funzione obiettivo. Allo stesso modo, il contributo di ogni attività alla quantità a sinistra in ogni vincolo funzionale è proporzionale al livello di attività x_j , come indicato dal termine $a_{ij} x_j$ nel vincolo stesso. Di conseguenza, in un modello di programmazione lineare, questa ipotesi non permette nessun esponente, tranne che l'esponente 1, per qualunque variabile in qualunque termine di una qualunque funzione.

- **Ipotesi di additività:** in un modello di programmazione lineare ogni funzione è la somma dei contributi individuali delle rispettive attività.
- **Ipotesi di divisibilità:** le variabili decisionali di un modello di programmazione lineare possono assumere un qualunque valore, inclusi quelli non interi, che soddisfino i vincoli funzionali e quelli di nonnegatività.
- **Ipotesi di certezza:** i valori assegnati a ogni parametro di un modello di programmazione lineare sono costanti note.

5.4 RISOLUZIONE DEI PROBLEMI DI PROGRAMMAZIONE LINEARE

Nel caso di problemi semplici con poche variabili la risoluzione può essere effettuata attraverso il metodo grafico. Il primo passo di tale metodo è quello di descrivere graficamente i valori delle variabili decisionali che sono permessi dai vincoli. Si disegnano cioè le rette che delimitano la zona dei valori accettabili. Il secondo e ultimo passo è di trovare in questa zona il punto che massimizzi la funzione obiettivo. Chiaramente questa procedura, che richiede diversi tentativi per l'individuazione della zona che massimizza Z , non si può usare con più di due, o al massimo tre, variabili.

Un procedimento generale, allora, per la soluzione dei problemi di programmazione lineare è il metodo del simplesso, algoritmo ideato da Dantzig nel 1947. Nelle sue linee essenziali il metodo del simplesso in uso oggi è il medesimo di allora. Ci sono stati naturalmente molti miglioramenti di natura tecnica che permettono oggi di risolvere problemi con oneri computazionali molto grandi, ma l'idea di base rimane quella di generare una sequenza di vertici tramite una ricerca locale dei vertici fino a pervenire ad un ottimo (*Serafini, 2004*).

A eccezione di problemi di ridotte dimensioni, questo metodo viene sempre eseguito mediante computer e sofisticati pacchetti software che sono, oggi, ampiamente disponibili. Estensioni e varianti del metodo del simplesso vengono, inoltre, utilizzati per portare a termine l'analisi postottimale sui modelli.

Il metodo del simplesso è una procedura algebrica. Tuttavia, i concetti che stanno

alla base di tale metodo sono di natura geometrica. Le proprietà fondamentali della programmazione lineare sulle quali si basa il metodo del simplesso sono (Hillier & Lieberman, 1985):

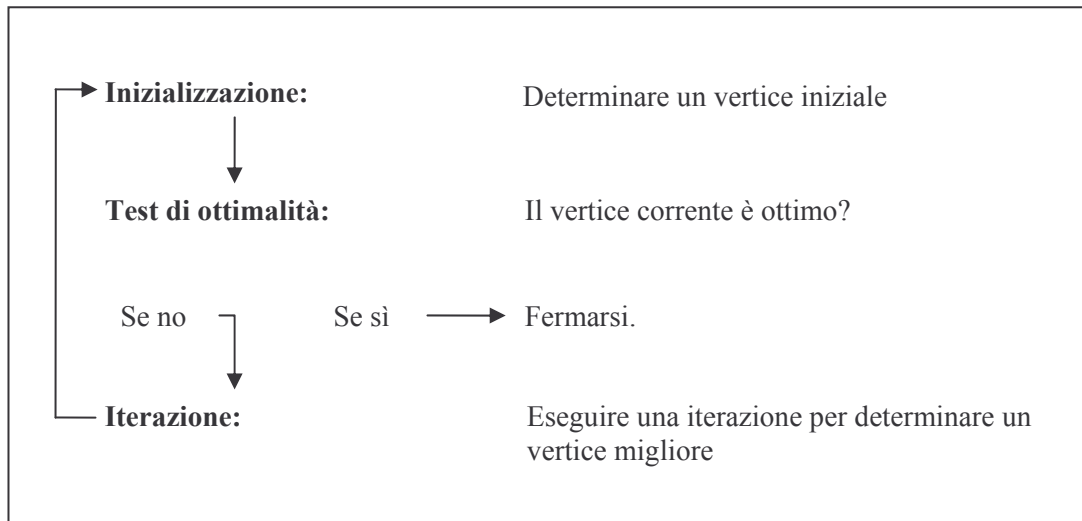
- **Proprietà 1:** L'insieme delle soluzioni accettabili (valore delle variabili x_1, x_2, \dots, x_n per il quale siano soddisfatti tutti i vincoli) costituisce un insieme convesso
- **Proprietà 2:** Se esiste una soluzione accettabile, esiste una soluzione accettabile di base, cioè una soluzione accettabile che giace sui vertici della frontiera dell'insieme delle soluzioni accettabili.
- **Proprietà 3:** le soluzioni accettabili di base sono in numero finito.
- **Proprietà 4:** se la funzione obiettivo ha un massimo finito, allora almeno una soluzione ottimale è una soluzione accettabile di base.

Le idee risolutive chiave del metodo del simplesso possono essere così riassunte (Hillier & Lieberman, 2005):

Idea risolutiva 1: il metodo del simplesso concentra la sua attenzione esclusivamente su vertici. Per trovare la soluzione per un qualunque problema che abbia almeno una soluzione ottima è sufficiente trovare un vertice ammissibile ottimo.

Dato che il numero delle soluzioni ammissibili è generalmente infinito, ridurre il numero di soluzioni che è necessario esaminare a un numero finito è una semplificazione considerevole.

Idea risolutiva 2: il metodo del simplesso è un algoritmo iterativo



Idea risolutiva 3: ogni qual volta è possibile, come vertice iniziale viene scelta l'origine (tutte le variabili decisionali uguali a zero). Questa scelta evita il ricorso a procedure algebriche per determinare un vertice iniziale nel caso in cui il numero di variabili decisionali sia tanto elevato da sconsigliare una ricerca per via grafica di tale soluzione.

Normalmente è possibile scegliere l'origine quando tutte le variabili decisionali sono vincolate ad assumere valori non negativi, poiché l'intersezione delle frontiere dei rispettivi vincoli rende l'origine un vertice. Questo punto è un vertice ammissibile a meno che esso non violi uno o più vincoli funzionali. Se è non ammissibile, sono necessarie speciali procedure per determinare un vertice iniziale.

Idea risolutiva 4: Ogni qual volta che il metodo del simplesso esegue un'iterazione per muoversi dal vertice corrente verso uno migliore, esso sceglie sempre un vertice ammissibile adiacente a quello corrente. Conseguentemente l'intero percorso seguito per raggiungere una eventuale soluzione ottima si snoda lungo gli spigoli della regione ammissibile.

Idea risolutiva 5: dopo aver identificato il vertice ammissibile corrente, il metodo del simplesso esamina ciascuno degli spigoli della regione ammissibile che si

originano da questo punto. Ognuno di questi spigoli conduce a un vertice adiacente situato all'altra estremità del segmento. Il metodo del simpleso non calcola esplicitamente il vertice adiacente; esso identifica, invece, semplicemente il tasso di miglioramento Z che potrebbe essere ottenuto muovendosi lungo lo spigolo. Tra gli spigoli che presentano un tasso positivo di incremento di Z , esso sceglie di muoversi lungo quello con il tasso di miglioramento maggiore. L'iterazione è completa determinando il vertice ammissibile adiacente alla parte opposta di questo spigolo e quindi rinominando questo vertice adiacente come il vertice corrente cui applicare il test di ottimalità e (se necessario) come punto di partenza per l'iterazione successiva.

Ipotesi risolutiva 6: l'idea risolutiva 5 descrive la maniera con cui il metodo del simpleso esamina ognuno degli spigoli della regione ammissibile che si originano dal vertice corrente. Questo esame porta velocemente alla determinazione del tasso di miglioramento per Z che si otterrebbe spostandosi lungo tale spigolo nella direzione che porta a vertice ammissibile adiacente che si trova all'altra estremità. Un tasso di miglioramento positivo per Z implica che il vertice adiacente è migliore di quello corrente, mentre un tasso negativo indica che il vertice adiacente è peggiore. Di conseguenza, il test di ottimalità consiste semplicemente nel controllare se esiste uno spigolo per il quale, spostandosi lungo di esso, si produce un tasso positivo di miglioramento per Z . Se nessuno degli spigoli soddisfa tale condizione, allora il vertice corrente è una soluzione ottima.

Per la formulazione di modelli di grandi dimensioni con centinaia o migliaia di vincoli funzionali è necessario l'uso di un linguaggio di modellazione, ossia di un software specificatamente progettato per la formulazione efficiente del modello in esame. Per aumentare l'efficienza nella formulazione di un modello di grandi dimensioni, un linguaggio di modellazione dovrà eseguire velocemente una serie di compiti per la gestione del modello, quali accedere ai dati, trasformare i dati in parametri del modello, modificare il modello tutte le volte che è richiesto, e analizzare le soluzioni del modello. Negli ultimi due decenni sono stati sviluppati diversi eccellenti linguaggi di modellazione. Tra questi AMPL, MPL, GAMS e LINGO.

MPL (Linguaggio di Programmazione Matematica) è un prodotto della Maximal

Software Inc. Una caratteristica di MPL è quella di essere ampiamente supportato da Excel. E' infatti possibile da MPL importare ed esportare dati di Excel. Questo prodotto permette di integrare pienamente i modelli MPL all'interno di Excel e di risolverli usando i potenti solver supportati dallo stesso MPL, tra cui CPLEX.

LINGO è un prodotto della Lindo Systems INc., che presenta una grande flessibilità nell'affrontare un'ampia varietà di problemi di ricerca operativa oltre alla programmazione lineare.

CAPITOLO VI

APPLICAZIONE DEL PROBLEMA DEI TRASPORTI ALLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

6.1 IL PROBLEMA DEI TRASPORTI

Uno dei problemi di programmazione lineare particolarmente importante è il **problema dei trasporti**, così chiamato perché molte delle sue applicazioni riguardano come trasportare in modo ottimale merci (*Hillier & Lieberman, 2005*).

Esso è un problema classico di gestione ottimale di quantità di materiali che devono essere trasferite da più luoghi dove giacciono ad altri luoghi avendo come obiettivo la minimizzazione dei costi (tempi) di trasporto.

Il problema generale di trasporto è legato, quindi, alla distribuzione di una qualunque merce da un qualsiasi gruppo di centri di distribuzione, chiamati **nodi sorgente** (nodi origine), a qualsiasi gruppo di centri di ricezione, chiamati **nodi destinazione**. Ogni nodo sorgente ha una certa **offerta** di unità da distribuire ai nodi destinazione e ogni nodo destinazione ha una specifica **domanda** che deve essere soddisfatta dai nodi sorgente. Per un problema di trasporto valgono le seguenti ipotesi e assunzioni (*Hillier & Lieberman, 2005*):

Assunzione sulle quantità offerte e richieste: ogni nodo sorgente ha un'offerta fissa che deve essere inviata interamente ai nodi destinazione (con a_i si indica il numero di unità che sono disponibili al nodo sorgente i , per $i = 1, 2, \dots, m$). Allo stesso modo ogni nodo destinazione ha una domanda fissa che deve essere soddisfatta dai nodi sorgente (con b_j si indica il numero di unità richieste dal nodo destinazione j , per $j = 1, 2, \dots, n$).

L'ipotesi che non ci sia margine di scelta nelle quantità che devono essere inviate o ricevute, significa che è necessario che ci sia equilibrio tra l'offerta totale da tutti i nodi sorgente e la domanda totale in tutti i nodi destinazione.

Esistenza di soluzioni ammissibili: per un problema di trasporto esistono soluzioni ammissibili se e solo se

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

In alcuni problemi reali, le quantità offerte rappresentano in realtà le quantità massime (piuttosto che quantità fisse) che devono essere inviate. Allo stesso modo, in altri casi, le domande rappresentano le quantità massime (piuttosto che quantità fisse) richieste. Tali problemi non sono esattamente simulati da un modello per un problema di trasporto. Tuttavia, è possibile riformulare il problema in modo che questi possano soddisfare i requisiti del modello introducendo una destinazione fittizia o una sorgente (origine) fittizia che tenga conto dello scostamento fra le quantità reali e le quantità massime che vengono distribuite.

Assunzione sui costi di trasporto: il costo di trasporto da una qualunque sorgente a una qualunque destinazione è direttamente proporzionale al numero di unità trasportate. Di conseguenza, questo costo è proprio il costo unitario di trasporto moltiplicato per il numero di unità trasportate.

Il modello: un qualunque problema soddisfa il modello per un problema dei trasporti se può essere descritto completamente in termini di una matrice che soddisfa sia l'assunzione sulle quantità offerte e richieste sia l'assunzione sui costi di trasporto. L'obiettivo è minimizzare il costo totale di trasporto.

		Costo per unità trasportata				Offerta
		Destinazione				
		1	2	...	n	
Origine	1	c ₁₁	c ₁₂	...	c _{1n}	a ₁
	2	c ₂₁	c ₂₂	...	c _{2n}	a ₂

	m	c _{m1}	c _{m2}	...	c _{mn}	a _m
Domanda		b ₁	b ₂	...	b _n	

Tabella 6.1 Esempio di matrice dei parametri per il problema dei trasporti

Indichiamo con Z il costo totale di trasporto e con x_{ij} il numero di unità trasferite dalla sorgente i alla destinazione j ; la formulazione come problema di programmazione lineare è la seguente:

min Z

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

soggetto ai vincoli

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad \text{per } i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad \text{per } j=1, 2, \dots, n$$

e

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{per ogni } i \text{ e } j$$

Oltre alla matrice dei parametri è conveniente disporre di un'altra matrice analoga in cui al posto dei coefficienti di costo compaiono le variabili x_{ij} .

Generalmente queste due matrici sono combinate inserendo c_{ij} in un angolo del rispettivo riquadro, ottenendo una matrice, detta **matrice di trasporto**, recante sulle righe le i origini e sulle colonne le j destinazioni. Ogni casella viene suddivisa in due, ponendo nella parte superiore il costo c_{ij} e nella parte inferiore la quantità incognita x_{ij} .

Tale matrice riassume anche i vincoli del problema giacché la somma dei valori assegnati alle variabili di una riga deve essere uguale al corrispondente elemento a_i , così come la somma dei valori assegnati alle variabili di una colonna deve uguagliare il corrispondente elemento b_j .

		Costo per unità trasportata				Offerta
		Destinazione				
		1	2	...	n	
Origine	1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	...	c_{1n} x_{1n}	a_1
	2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_{2n} x_{2n}	a_2

	m	c_{m1} x_{m1}	c_{m2} x_{m2}	...	c_{mn} x_{mn}	a_m
Domanda		b_1	b_2	...	b_n	

Tabella 6.2 Esempio di matrice di trasporto

Come per altri problemi di programmazione lineare, per formulare e risolvere problemi di trasporti sono oggi a disposizione diversi software quali per esempio Excel, LINGO/LINDO, MPL/CPLEX.

6.2 IL PROBLEMA DEI TRASPORTI APPLICATO ALLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE

Un problema dei trasporti applicato al caso delle risorse idriche costituisce un problema di razionalizzazione della gestione delle risorse idriche presenti su un territorio per il raggiungimento dell'equilibrio tra disponibilità e fabbisogno.

In tale contesto, i termini del problema dei trasporti diventano:

- **nodi sorgente (origini)**: opere presenti sul territorio (sorgenti, pozzi, derivazioni);
- **nodi destinazioni** : utenze presenti sul territorio (Comuni);
- a_i : disponibilità idrica del generico nodo sorgente i -esimo;
- b_j : fabbisogno della j -esima utenza;
- c_{ij} : costo unitario di trasferimento della risorsa idrica dalla i -esima origine alla j -esima destinazione.

Applicando tale tipologia di problema alle risorse idriche disponibili su un territorio in relazione alla domanda delle utenze, si ottiene un modello in grado di evidenziare quella che sarebbe l'*ottimale* distribuzione delle risorse potabili sul territorio in esame; il confronto tra l'*ottimale* distribuzione delle risorse risultante dal modello e la reale distribuzione idrica realizzata dagli schemi acquedottistici e

infrastrutturali presenti sul territorio, costituisce una stima del grado di scostamento dell'attuale livello di distribuzione dall'ottimo.

Passando da questo *primo livello di approfondimento* a un *livello successivo*, in cui si tiene conto delle infrastrutture e degli schemi acquedottistici reali, si ottiene un problema capace di determinare i possibili trasferimenti di disponibilità idriche sul territorio da differenti schemi, in modo da ottenere un'ottimale gestione delle risorse disponibili. La soluzione del problema può, ad esempio, essere utilizzata per risolvere problemi locali di approvvigionamento, attraverso trasferimenti di risorse e creazione delle necessarie opere di adduzione.

Il criterio di ottimizzazione proposto deve necessariamente essere applicato a diversi e successivi livelli di approfondimento partendo da una rappresentazione più semplificata fino a un modello più vicino alla complessità reale.

Per ciascun livello di approfondimento, inoltre, potrebbero essere necessarie diverse elaborazioni con l'introduzione di nuovi vincoli, sulla base della reale applicabilità del risultato della precedente elaborazione. Ad esempio, il trasferimento di risorsa da una origine a una destinazione, per come predetto dal modello, potrebbe non essere realizzabile sul territorio a causa di problemi orografici, economici, strutturali, o altro, rendendo necessaria una nuova elaborazione del modello che tenga in conto il vincolo di non possibile collegamento tra quella determinata origine e quella destinazione. Per tentativi e implementazioni successive, si ottiene, allora, una soluzione, che può essere correttamente applicata nella realtà in esame.

Ulteriori livelli di approfondimento sono rappresentati dall'applicazione del modello considerando i singoli schemi acquedottistici e, quindi, un maggior dettaglio delle distanze e dei costi di trasferimento delle risorse.

Spingendo l'applicazione a livelli sempre maggiori di approfondimento è possibile, non solo individuare soluzioni ottimali per problemi locali e specifici di approvvigionamento idrico, ma anche individuare i punti del sistema idrico in cui è necessario trovare fonti alternative di approvvigionamento o in cui è possibile ridurre gli eventuali acquisti da terzi.

I risultati ottenuti dal modello prima di essere applicati devono, ovviamente, essere armonizzati con il piano degli investimenti previsti per il sistema in esame e con lo sviluppo tariffario, al fine di valutare la reale fattibilità degli interventi anche

dal confronto con altre possibili soluzioni.

Tale criterio di ottimizzazione, infine, se accoppiato con altri criteri di ottimizzazione inerenti, ad esempio, le gestioni esistenti sul territorio o la tariffa, permette di individuare porzioni di territorio “ottimali” ossia di delimitare gli Ambiti Territoriali Ottimali su base scientifica e metodologica.

6.3 APPLICAZIONE DEL PROBLEMA DEI TRASPORTI PER LA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE DELLA REGIONE CALABRIA

E' stata effettuata una prima applicazione del problema dei trasporti a scala regionale, al *primo livello di approfondimento*, considerando tutte le risorse idriche presenti sul territorio e i fabbisogni di tutti i comuni della regione. I risultati del modello permettono di valutare quella che sarebbe l'ottimale distribuzione delle risorse sul territorio, da confrontare con l'attuale distribuzione realizzata attraverso i diversi schemi acquedottistici esistenti.

6.3.1 Inquadramento generale della regione Calabria

Il territorio della regione Calabria ha una superficie di circa 15100 Km² con una popolazione residente di circa 2.000.000 ab, distribuiti su 409 comuni.

Ai sensi della L.R. 10/97 il territorio è stato provvisoriamente suddiviso in 5 Ambiti Territoriali Ottimali, i cui confini coincidono con i limiti amministrativi delle 5 province calabresi:

- Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 1 – Cosenza”
- Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 2 – Catanzaro”
- Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 3 – Crotona”
- Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 4 – Vibo Valentia”
- Ambito Territoriale Ottimale “Calabria 5 – Reggio Calabria”

6.3.1.1 Inquadramento territoriale

L'Ambito Territoriale Ottimale 1 è collocato nella porzione più settentrionale della regione e confina a Nord con la regione Basilicata, con la quale condivide il massiccio del Pollino, a Sud con le Province di Crotona e Catanzaro, avendo come limiti fisici l'altopiano silano e il basso corso del fiume Savuto, mentre a Est e a

Ovest si affaccia rispettivamente sul mare Ionio e sul Tirreno.

Nella parte settentrionale della provincia di Cosenza ricadono dei bacini idrografici condivisi con la regione Basilicata, classificati come bacini di interesse interregionale, ossia i bacini del Lao e del Noce con foce sul Tirreno e quello del Sinni con foce nello Ionio.

Il territorio dell'Ambito presenta dal punto di vista fisico-geografico e geomorfologico quattro diverse unità territoriali con caratteristiche omogenee.

Il territorio è percorso da nord a sud, in prossimità della costa tirrenica, da una catena di monti che lasciano una fascia costiera assai ristretta e che molto spesso arrivano fino al mare. Lo spartiacque appenninico, posto molto a ridosso della costa, comporta la quasi totale assenza di una pianura litoranea. I centri posti lungo il litorale sono nella stagione estiva un'attrattiva turistica e balneare, con un considerevole aumento della popolazione presente, e di conseguenza della domanda di servizi, sia per l'apporto di turisti interni all'ambito sia di altre province e regioni.

Un'altra unità fisica è costituita dal massiccio del Pollino e dalle aree contermini, al confine nord della Calabria e dell'ATO con la regione Basilicata, nel cui territorio ricade il versante nord. Dal punto di vista socioeconomico oltre che geografico rientra in questo comprensorio l'area dell'alto ionio cosentino a nord della foce del Crati che si protende verso la Basilicata; la costa, a differenza di quella tirrenica presenta una più ampia zona litoranea anche se comunque poco estesa, ed è ugualmente soggetta a forti fluttuazioni stagionali di carattere turistico. Il comprensorio in esame comprende una vasta area dove si trova il Parco Nazionale del Pollino che interessa le due regioni confinanti (Basilicata e Calabria) e che si estende nella porzione calabrese fino ai monti dell'Orsomarso che fanno da cerniera fra il Pollino e la Catena costiera tirrenica. Questi ultimi, hanno grande rilevanza, ai fini del servizio idrico, in quanto hanno finora rappresentato un bacino di risorse idriche di capitale importanza per l'intero Ambito.

L'altopiano della Sila si situa nella porzione sud-orientale della provincia di Cosenza che condivide questi monti con la provincia di Catanzaro e quella di Crotona. Il comprensorio ha vocazione turistica e forestale con notevoli insediamenti turistici frequentati sia in inverno che in estate. Le fasce pedemontane della Sila sono caratterizzate da una successione di centri medio piccoli che, a seconda della loro

collocazione, hanno come centro di influenza la città di Cosenza sul versante occidentale e i centri di Rossano e Corigliano per il versante orientale.

L'unica area pianeggiante dell'Ambito risulta essere la piana alluvionale del Fiume Crati. Nell'alta valle del Crati si trova il capoluogo che con i paesi dell'immediata cintura, sia della fascia pedemontana collinare a sud che della zona valliva a nord, rappresenta il centro di maggiore concentrazione abitativa dell'intera provincia. Lungo il medio corso del Crati si trovano una serie di paesi di importanza medio-piccola e il settore produttivo dominante della zona risulta l'agricoltura. Nel basso corso del Crati la valle si allarga nella piana alluvionale detta Piana di Sibari che risulta intensamente sfruttata dal punto di vista agricolo, anche con colture fortemente idroesigenti.

Il territorio dell'Ambito Territoriale Ottimale 2 – Catanzaro, è compreso, invece, nel settore centrale dell'arco Calabro-Peloritano e, dal punto di vista fisico-geografico e geomorfologico, presenta tre diverse zone territoriali con caratteristiche omogenee che possono essere distinte a nord dal massiccio della Sila, nella sua parte centrale dalla "Stretta di Catanzaro" e a sud dalle Serre catanzaresi.

L'altopiano della Sila è situato nella porzione settentrionale della Provincia di Catanzaro ed è un comprensorio a vocazione turistica e forestale con insediamenti turistici frequentati sia in inverno che in estate.

La Sila degrada a sud verso la stretta di Catanzaro, caratterizzata dai bacini idrografici del fiume Corace verso lo Ionio, e del fiume Amato verso il tirreno. In quest'ultima area è presente l'unica zona pianeggiante di un certo rilievo della Provincia, la piana di Lamezia Terme. Nel limite orientale della stretta, a ridosso del massiccio della Sila piccola, si trova il capoluogo che rappresenta il centro di maggiore concentrazione abitativa dell'intera provincia. Il bacino idrografico del fiume Amato, con i suoi affluenti principali Pesipe, S. Ippolito e Cottola, si allarga nella piana alluvionale detta Piana di S. Eufemia che risulta intensamente sfruttata dal punto di vista agricolo, anche con colture fortemente idroesigenti.

La parte meridionale del territorio della provincia si sviluppa, invece, sul versante ionico della catena montuosa delle Serre. In quest'ultimo versante si trova il bacino idrografico del fiume Ancinale che sfocia nello Ionio in prossimità di Soverato, centro maggiore della zona. Dal punto di vista dell'insediamento umano, i centri di

maggiore affluenza sono rappresentati dai comuni di Soverato e Chiaravalle.

Per quanto riguarda il territorio dell'Ambito Territoriale Ottimale 3, esso è delimitato orograficamente a nord dal fiume Nicà, a sud dal fiume Tacina, a ovest dall'altopiano silano e a est dal mare Ionio.

I corsi d'acqua principali che attraversano la Provincia sono, da nord verso sud, Lipuda, Neto (il principale) ed Esaro; si tratta di fiumi che originano tutti dagli altopiani della Sila, a regime molto variabile, con i tratti vallivi praticamente asciutti nei mesi estivi.

L'altopiano silano costituisce il limite occidentale della Provincia e degrada rapidamente verso la fascia costiera formando un insieme molto tormentato e ricco di bacini.

Gran parte del territorio, soprattutto nella fascia valliva più pianeggiante, è classificato di "Bonifica Integrale" con Ente competente il Consorzio di Bonifica della bassa valle del Neto.

Il bacino che comprende l'altopiano di Isola di Capo Rizzuto si presenta morfologicamente collinare mentre il bacino dell'Esaro di Crotona e la fascia costiera sono pianeggianti.

Le caratteristiche orografiche del territorio fanno sì che la parte collinare sia frequentemente tagliata da profonde incisioni golenali tali da rendere difficili i collegamenti diretti fra i centri collinari.

L'Ambito Territoriale ottimale 4 si estende nell'area delimitata dalle serre a Est, dal fiume Angitola a Nord e dal fiume Mesima a Sud. Il territorio della Provincia risulta costituito da diverse unità tra loro distinte.

La porzione occidentale del territorio è costituita dal promontorio del monte Poro che si protende sino al Tirreno; si tratta di un'area collinare che arriva fino al mare determinando un profilo di costa spesso alta e con rocce a picco. Lungo la costa si trovano gli insediamenti maggiori tra cui il capoluogo e molti centri di grande rilevanza turistica nella stagione balneare.

La parte orientale del territorio si sviluppa invece nel versante tirrenico della catena montuosa delle Serre. I monti delle Serre costituiscono una dorsale montuosa che attraversa da nord a sud della Calabria centro meridionale connettendo la provincia di Catanzaro con i rilievi aspromontani e costituendo una linea di

demarcazione tra il versante ionico e quello tirrenico.

Nella porzione Nord della provincia si ritrova una zona che essendo prospiciente alla piana di S.Eufemia degrada progressivamente da altitudini collinari verso quote più basse fino alla piana dell'Angitola a livello mare.

Per quanto riguarda, infine, l'Ambito Territoriale Ottimale 5 - Reggio Calabria, esso risulta per estensione superficiale e per popolazione residente il secondo della regione, dopo l'A.T.O. 1 Cosenza. Per ciò che concerne le caratteristiche fisico-geografiche, la provincia di Reggio Calabria occupa la parte più meridionale della Calabria protendendosi verso la Sicilia a guisa di massiccio promontorio, tra il mar Tirreno e il mar Ionio e lo stretto di Messina a Sud-Ovest, mentre a nord confina con la provincia di Catanzaro e a Nord-Ovest con quella di Vibo Valentia. Il territorio comprende il massiccio montuoso dell'Aspromonte con le sue pendici collinari, digradanti a terrazze, e la parte meridionale delle Serre.

L'idrografia della zona è caratterizzata da fiumi (fiumare) a carattere torrentizio e corso breve, per la vicinanza dei rilievi alla costa che talvolta provocano inondazioni. Dai campi pozzi ubicati sui profondi terreni alluvionali delle fiumare, in prossimità della costa, si emungono le maggiori portate, che rappresentano anche la maggiore risorsa idrica attualmente sfruttata. Altre modeste portate sono invece prelevate dalle diverse sorgenti, utilizzate nell'approvvigionamento idrico soprattutto per i centri abitati più interni. Nel complesso, dunque, l'approvvigionamento idrico è costituito quasi esclusivamente da risorse sotterranee, che garantiscono, a meno dei casi in cui si verifica intrusione del cuneo salino nella falda per l'eccessivo sfruttamento, una qualità dell'acqua potabile che non necessita di impianti di potabilizzazione. Sono tuttavia in previsione o in stato di realizzazione grandi opere di derivazione di acque superficiali (sbarramento e invaso sul Torrente Menta, sbarramento e invaso sul Torrente Metramo e Lordo, completamento del sistema Alaco), che andranno a sostituire in modo consistente l'approvvigionamento dai pozzi, con conseguente notevole risparmio energetico e ripascimento delle falde di subalveo.

6.3.1.2 Aspetti demografici

I dati anagrafi per i comuni della regione sono stati ricavati analizzando i dati ISTAT relativi agli anni 1981, 1991 e 1998 (*Sogesid*, 2000).

Per quanto riguarda i comuni ricadenti nell'A.T.O.1 emerge un comportamento non uniforme per tutti i comuni, anche se, a livello globale, si sono registrati degli incrementi progressivamente minori, ovvero lo 0.6% nel primo decennio e lo 0.3% nel decennio successivo, sicché sembra ragionevole supporre che la tendenza nei prossimi anni per la provincia nel suo complesso sia verso la crescita zero.

Disaggregando il dato si evidenzia, invece, un certo spopolamento dei comuni minori interni a vantaggio dei centri di riferimento maggiori dei vari comprensori, dove sono dislocate le attività economico produttive e una offerta di servizi sociali e qualità della vita di maggiore attrattiva. Il processo, già evidente nel decennio 1981÷1991 è confermato nel periodo successivo e sembra verosimile supporre che sia ancora in atto.

La forma di insediamento prevalente è quella dei piccoli comuni al di sotto dei 5.000 abitanti i quali sono ben 122 su un totale di 155 comuni. Di questi 122 comuni, inoltre, 19 hanno una popolazione inferiore ai 1.000 abitanti, mentre la dimensione più frequente degli insediamenti risulta quella tra 1.000 e 2.000 abitanti. I comuni che superano i 10.000 abitanti risultano 15 e di questi solo il capoluogo supera i 50.000 abitanti.

Per quanto riguarda le densità di popolazione, dall'esame dei dati si conferma che i comuni con estensione territoriale maggiore sono prevalentemente quelli che hanno grandi porzioni ricadenti nel comprensorio silano e comunque con entroterra nelle zone montuose della provincia. Per quanto riguarda le densità abitative si osserva che solo il comune capoluogo supera i 2000 ab/km², sia per la grande concentrazione abitativa sia per la ridotta estensione del territorio comunale. Altri comuni con densità notevole sono quelli limitrofi a Cosenza e alcuni grossi centri rivieraschi sul Tirreno per via della ridotta estensione del territorio comunale. Le aree che mostrano la minore densità abitativa sono principalmente localizzate nell'Alto Ionio Cosentino dove si hanno mediamente 10÷20 abitanti per km² in quei piccoli comuni di montagna o alta collina con meno di 1.000 abitanti ciascuno, e inoltre nel Basso Ionio dove si hanno densità di 30÷50 abitanti per km², anche se in alcuni casi il dato riferito ai soli residenti non è sufficientemente rappresentativo in quanto si registrano notevoli incrementi stagionali di popolazione.

Per quanto riguarda l'A.T.O. 2, la variazione media di popolazione registrata è

pari allo 0,3% e le variazioni minime e massime sono dell'ordine del 20%. La forma di insediamento prevalente è quella dei piccoli comuni al di sotto dei 5.000 abitanti, che risultano essere 69 su un totale di 80 comuni complessivi. Di questi 69 comuni, 11 hanno una popolazione inferiore a 1.000 abitanti, mentre la dimensione più frequente di insediamenti risulta quella tra 1.000 e 2.000 abitanti. I soli comuni dell'Ambito che superano i 10.000 abitanti sono il capoluogo Catanzaro, Lamezia Terme e Soverato. Essi rappresentano anche i centri di maggior interesse e di riferimento per la popolazione dei comuni minori.

Nell'Ambito Territoriale Ottimale 3 si nota, invece, una variazione media quasi nulla con variazioni minime del -18% e massime nell'ordine dell'8%.

La forma di insediamento prevalente è quella dei piccoli comuni al di sotto dei 5.000 abitanti, i quali sono 17 su un totale dei 27 comuni dell'Ambito, mentre rispetto al numero di abitanti per nuclei abitativi si nota un sostanziale equilibrio. Infatti si registra che il 22% della popolazione vive in Comuni al di sotto dei 5.000 abitanti, il 23% in Comuni tra i 5.000 e i 10.000 abitanti, il 21% tra i 10.000 e i 50.000 abitanti mentre la sola Crotona rappresenta il 34% della popolazione dell'ATO.

E' da rilevare la completa assenza di Comuni compresi nella classe demografica da 0 a 1.000 abitanti, mentre la dimensione più frequente di insediamenti risulta quella tra 1.000 e 2.000 abitanti.

Nell'Ambito Territoriale Ottimale 4 la forma di insediamento prevalente è ancora quella dei piccoli comuni al di sotto dei 5.000 abitanti, i quali rappresentano il 60% sul totale. Si registra, inoltre, che il 24% ricade nella classe 5.000-15.000 abitanti mentre il 16% supera i 20.000 abitanti.

La popolazione dell'Ambito Territoriale Ottimale 5, risiede prevalentemente nei centri e nuclei e solo il 4% nelle case sparse.

La forma di insediamento prevalente è quella dei piccoli comuni al di sotto dei 5.000 abitanti, i quali sono 70 su un totale dei 97 comuni; 15 comuni hanno una popolazione compresa tra i 5.000 e i 10.000 abitanti mentre i rimanenti 12 hanno popolazione maggiore di 10.000, tra cui spicca la città di Reggio Calabria con i suoi circa 177.000 abitanti.

6.3.1.3 Disponibilità idropotabili e forme gestionali esistenti

Per quanto riguarda l'Ambito Territoriale Ottimale 1, dalla ricognizione emerge che l'approvvigionamento idrico è in parte garantito da fonti di produzione interne all'Ambito stesso, in particolare da sorgenti e acque sotterranee, con una produzione complessiva prodotta nel 1998 di circa 179 Mm³.

Da un esame più puntuale delle risorse disponibili risulta che, con riferimento alle sorgenti o gruppi di sorgenti:

- Fra quelle gestite dalla Regione Calabria, 46 sorgenti producono una portata media superiore a 10 l/s; 17 sorgenti hanno una portata media compresa fra 10 e 5 l/s mentre le rimanenti hanno una portata media inferiore a 5 l/s.
- Fra quelle gestite direttamente dai comuni o dagli Enti gestori industriali la portata media più elevata è pari a 60 l/s, 75 sorgenti hanno una portata superiore ai 5 l/s con e tutte le altre 217 sorgenti hanno una portata media inferiore ai 5 l/s .

Per quanto riguarda i pozzi o campi pozzi si segnala che:

- Fra i pozzi regionali n.14 su 15 pozzi o campi pozzi per i quali è disponibile il dato prelevano una portata media superiore ai 5 l/s;
- Fra i pozzi gestiti dai comuni e dagli altri Enti gestori 34 pozzi o campi pozzi hanno una portata media superiore ai 5 l/s mentre altri 47 pozzi hanno una portata media inferiore ai 5 l/s.

Dal punto di vista gestionale l'Ambito è caratterizzato da 150 gestioni in economia e 4 gestioni industriali. Di queste ultime, una (Regione Calabria) è esclusivamente produttrice e adduttrice di risorsa e gestisce il segmento di adduzione per 133 comuni mentre gli altri tre gestori industriali hanno anche rapporti diretti con le utenze. Le gestioni interambito sono caratterizzate dalla gestione di sistemi costituiti dal complesso delle reti di adduzione e di opere connesse che recapitano l'acqua prodotta, sia all'esterno che all'interno dell'Ambito, ai sistemi locali di distribuzione.

- Regione Calabria oggi Sorical

La Regione gestisce 42 acquedotti, con una lunghezza delle opere di adduzione di circa 1.500 Km.

- Gestioni intercomunali

Sono caratterizzate dalla gestione di sistemi intercomunali costituiti sia dai sistemi subregionali di adduzione (e opere connesse) che dalle singole reti di distribuzione, normalmente da questi alimentate.

- Consorzio Valle Lao

Il Consorzio Valle Lao gestisce un solo acquedotto per una lunghezza di adduttrici pari a circa 2 Km, alimentando parzialmente 3 comuni. La produzione è pari nel 1998 a 0,25 Mm³ e avviene tramite un unico pozzo. Gestisce 2 reti di distribuzione e 2 serbatoi.

- ARSSA

L'ARSSA gestisce 22 acquedotti per una lunghezza di adduttrici pari a circa 40 Km, alimentando completamente o parzialmente 7 comuni. La produzione avviene tramite 43 sorgenti e 1 pozzo, inoltre ha acquistato dalla Regione circa 40.000 Mm³. Gestisce 58 reti di distribuzione, 48 serbatoi e 2 impianti di sollevamento.

- ITALGAS

L'ITALGAS gestisce 11 acquedotti per una lunghezza di adduttrici pari a circa 79 Km, alimentando completamente 5 comuni. Gestisce 63 reti di distribuzione, 26 serbatoi e 4 impianti di sollevamento.

- Gestioni locali

Sono caratterizzate dalla gestione di impianti di adduzione locali e delle reti di distribuzione all'utenza, comprensive delle condotte idriche e delle opere complementari (pozzi, sorgenti, serbatoi e impianti di sollevamento). La totalità delle gestioni locali è costituita dai comuni.

L'approvvigionamento idrico dell'Ambito Territoriale Ottimale 2 è in gran parte garantito da fonti di produzione interne all'Ambito stesso e in minima parte dall'adduzione di risorsa esterna all'Ambito (gestita dalla Regione Calabria).

Con riferimento alle sorgenti o gruppi di sorgenti è stato rilevato che:

- Fra quelle gestite dalla Regione Calabria n. 16 sorgenti producono una portata media superiore a 10 l/s mentre tutte le altre hanno una portata media inferiore, alcune anche sotto i 5 l/s.
- Fra quelle gestite direttamente dai comuni o dagli Enti gestori industriali la portata media più elevata è pari a 110 l/s, mentre la maggior parte delle sorgenti hanno una portata media inferiore ai 5 l/s.

Per quanto riguarda i pozzi o campi pozzi si segnala che:

- I pozzi regionali per i quali è disponibile il dato prelevano una portata media superiore ai 10 l/s.
- Fra i pozzi gestiti dai comuni e dagli altri Enti gestori 10 hanno una portata media superiore ai 5 l/s; altri 27 hanno una portata media inferiore ai 5 l/s.

Tale Ambito presenta, dal punto di vista gestionale, 77 gestioni in economia e 4 gestioni industriali. Di queste ultime una (Regione Calabria) è esclusivamente produttrice e adduttrice di risorsa e gestisce il segmento di adduzione per 76 comuni mentre gli altri tre gestori industriali hanno anche rapporti diretti con le utenze.

▪ Gestioni interambito

Sono caratterizzate dalla gestione di sistemi interambito costituiti dal complesso delle reti di adduzione e di opere connesse che recapitano l'acqua prodotta, sia all'esterno che all'interno dell'ambito, ai sistemi locali di distribuzione.

- *Regione Calabria*

La Regione gestisce 28 acquedotti, con una lunghezza delle opere di adduzione di circa 828 km. La Regione fornisce acqua per l'alimentazione di 76 sui 80 comuni

dell'ATO e gestisce 222 tra serbatoi di compenso e piezometri e 32 impianti di sollevamento.

▪ Gestioni locali

Sono caratterizzate dalla gestione di impianti di adduzione locali e delle reti di distribuzione all'utenza, comprensive delle condotte idriche e delle opere complementari (pozzi, sorgenti, serbatoi e impianti di sollevamento). La totalità delle gestioni locali è costituita dai comuni e 3 gestori industriali ognuno dei quali gestisce il segmento di adduzione e distribuzione per un solo comune.

- *ITALGAS*

L'ITALGAS gestisce 2 acquedotti per una lunghezza di adduttrici pari a circa 6,4 Km, alimentando il comune di Falerna. Gestisce 3 reti di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 42 km di reti, 5 serbatoi e nessun impianto di sollevamento.

- *HYDRECO S.C.A.R.L.*

L'HYDRECO gestisce 0,25 km di adduttrici, alimentando il comune di Botricello. Gestisce 1 rete di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 28 km, 1 serbatoio e nessun impianto di sollevamento.

- *FRASCA GIOCONDO*

FRASCA GIOCONDO gestisce 2 reti di distribuzione del Comune di Badolato per una lunghezza complessiva di 20 km, 2 pozzi e 2 serbatoi.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento idrico dell'A.T.O.3, esso è in gran parte garantito da fonti di produzione interne all'Ambito stesso, in particolare da sorgenti, acque sotterranee e derivazioni da corsi d'acqua e, in minima parte dall'adduzione di risorsa esterna all'Ambito (gestita dalla Regione Calabria). Riguardo alla produzione interna all'ATO per uso potabile 6,3 milioni di m³ derivano dallo sfruttamento delle falde sotterranee 16.4 milioni di m³ dalle sorgenti. Per quanto riguarda le derivazioni superficiali circa 2,2 milioni di metri cubi sono

derivati dalla Regione Calabria e i rimanenti 23,6 milioni di metri cubi sono gestiti dai due Consorzi di Bonifica presenti sul territorio.

Da un esame più puntuale delle risorse disponibili risulta che con riferimento alle sorgenti o gruppi di sorgenti:

- Fra quelle gestite dalla Regione Calabria n. 11 sorgenti producono una portata media superiore a 10 l/s; 4 sorgenti hanno una portata media compresa fra 10 e 5 l/s ed ulteriori 2 sorgenti hanno una portata media inferiore a 5 l/s.
- Fra quelle gestite direttamente dai comuni o dagli Enti gestori industriali la portata media più elevata è pari a 20 l/s, n. 3 sorgenti sono superiori ai 5 l/s le altre 9 sorgenti hanno una portata media inferiore ai 5 l/s.

Per quanto riguarda i pozzi o campi pozzi si segnala che:

- I n.3 pozzi regionali prelevano una portata media superiore ai 20 l/s .
- I n. 4 pozzi gestiti dai comuni hanno una portata media non superiore ai 5 l/s.

Dal punto di vista gestionale, sono state individuate 26 gestioni in economia e 6 gestioni industriali. Di queste ultime la Regione Calabria è esclusivamente produttrice e adduttrice di risorsa e gestisce il segmento di adduzione per 27 comuni, il Consorzio di Bonifica Bassa Valle Neto e il Consorzio di Bonifica Le Castelle-Capo Colonna sono anch'essi produttori e adduttori di risorsa e gestiscono parte del segmento di adduzione del Comune di Rocca di Neto il primo, e dei Comuni di Crotona, Cutro e Isola Capo Rizzuto il secondo.

Gli altri tre gestori industriali (ASI, l'ITALGAS e ARSSA) hanno anche rapporti diretti con le utenze.

▪ Gestioni intercomunali

Sono caratterizzate dalla gestione di sistemi intercomunali costituiti sia dai sistemi subregionali di adduzione (e opere connesse) che dalle singole reti di distribuzione, normalmente da questi alimentate.

I soli gestori intercomunali sono l'ARSSA e il Consorzio di Bonifica Le Castella CapoColonna.

- *ARSSA*

L'ARSSA gestisce circa 61 km di adduttrici alimentando alcune frazioni dei comuni di Casabona, Crotone, Cutro e Isola Capo Rizzuto. La produzione è nulla in quanto acquista la risorsa direttamente dalla Regione Calabria. Gestisce 22 reti di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 169 km di reti, 20 serbatoi e nessun impianto di sollevamento.

- *Consorzio di Bonifica Le Castelle-Capo Colonna*

Il Consorzio di Bonifica gestisce circa 10 km di adduttrici alimentando alcune frazioni dei comuni di Crotone (solo in emergenza), Cutro e Isola Capo Rizzuto nonché alcune utenze locali quali i villaggi turistici estivi della zona (Valtur, Hotel Club Le Castelle, Selene, ecc.).

▪ *Gestioni locali*

Sono caratterizzate dalla gestione di impianti di adduzione locali e delle reti di distribuzione all'utenza, comprensive delle condotte idriche e delle opere complementari (pozzi, sorgenti, serbatoi e impianti di sollevamento). La totalità delle gestioni locali è costituita dai comuni e da 3 gestori industriali ognuno dei quali gestisce il segmento di adduzione e distribuzione per un solo comune.

- *ITALGAS*

L'ITALGAS gestisce 1 acquedotto per una lunghezza di adduttrici pari a circa 23,2 Km, alimentando il comune di Crotone. Gestisce 11 reti di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 184 km di reti, 3 serbatoi e 1 impianto di sollevamento.

- *A.S.I.*

L'ASI gestisce circa 20 km di adduttrici, alimentando l'intera area industriale di Crotona. Gestisce 1 rete di distribuzione, 2 serbatoi e nessun impianto di sollevamento.

- *Consorzio di Bonifica Bassa Valle Neto*

Il Consorzio di Bonifica alimenta parzialmente il Comune di Rocca di Neto. Gestisce 1 acquedotto e 1 serbatoio.

L'approvvigionamento idrico dell'Ambito Territoriale Ottimale 4 è in parte garantito da fonti di produzione interne all'Ambito stesso, in particolare da sorgenti e acque sotterranee e dall'adduzione di risorsa esterna all'Ambito (gestita dalla Regione Calabria).

Da un esame più puntuale delle risorse disponibili risulta che con riferimento alle sorgenti o gruppi di sorgenti:

- Fra quelle gestite dalla Regione Calabria soltanto n. 8 sorgenti producono una portata media superiore a 10 l/s; 18 sorgenti hanno una portata media compresa fra 10 e 5 l/s e ulteriori 28 sorgenti hanno una portata media inferiore a 5 l/s.
- Fra quelle gestite direttamente dai comuni o dall'Impresa Restuccia la portata media più elevata è pari a 7 l/s, mentre quasi tutte hanno una portata media inferiore ai 5 l/s.

Per quanto riguarda i pozzi o campi pozzi si segnala che:

- Fra i pozzi regionali n.15 pozzi o campi pozzi prelevano una portata media superiore ai 5 l/s, per 7 pozzi o campi pozzi la portata media risulta inferiore ai 5 l/s.
- Fra i pozzi gestiti dai comuni e dall'Impresa Restuccia 34 pozzi o campi pozzi hanno una portata media superiore ai 5 l/s, gli altri pozzi hanno una portata media inferiore ai 5 l/s .

Il servizio idropotabile è caratterizzato dalla presenza di un gestore, la Regione Calabria, che fornisce risorsa idropotabile alla quasi totalità dei Comuni dell'ATO. Oltre alla presenza della Regione Calabria è da rimarcare la presenza di una società privata, l'Impresa Restuccia, che ha la gestione di 8 comuni di cui gestisce sia l'adduzione che la distribuzione. Per il resto del territorio e per il servizio di distribuzione si registra esclusivamente la presenza di gestioni in economia da parte dei singoli comuni. Si possono ancora catalogare rispetto alla diffusione territoriale le seguenti tipologie di gestione:

▪ Gestioni interambito

Sono caratterizzate dalla gestione di sistemi interambito costituiti dal complesso delle reti di adduzione e di opere connesse che recapitano l'acqua prodotta, sia all'esterno che all'interno dell'ambito, ai sistemi locali di distribuzione. Per ciò che riguarda la Regione Calabria, come già detto, essa gestisce gran parte delle infrastrutture di adduzione, con una consistenza delle opere notevole.

▪ Gestioni intercomunali

L'unico gestore di servizi idrici intercomunali è, come detto, l'Impresa Restuccia, che gestisce 11 acquedotti per una lunghezza di adduttrici pari a circa 47 km, alimentando completamente o parzialmente 8 comuni. Gestisce 43 reti di distribuzione per una lunghezza complessiva di circa 166 km, 18 serbatoi e 3 impianti di sollevamento.

▪ Gestioni locali

Sono caratterizzate dalla gestione di impianti di adduzione locali e delle reti di distribuzione all'utenza, comprensive delle condotte idriche e delle opere complementari (pozzi, sorgenti, serbatoi e impianti di sollevamento). La totalità delle gestioni locali è costituita dai comuni.

Per ciò che concerne, infine, le disponibilità idriche dell'Ambito Territoriale Ottimale 5, dai dati raccolti nella ricognizione si rileva che complessivamente vengono prodotti all'interno dell'ATO la quasi totalità dei volumi, dei quali circa il

78% proviene dagli emungimenti da pozzi.

L'unico apporto idrico di provenienza esterna all'ATO è quello relativo all'Acquedotto dell'Alaco, per la quota parte a servizio dei Comuni di S. Pietro di Carità, Serrata e gli altri comuni a seguire lungo la linea dell'Alaco. Del complesso delle risorse disponibili il 42% è prodotto dalle gestioni comunali con fonti proprie in economia, il 56,5% è fornito dalla Regione, mentre l' 1,5% è fornito dal Consorzio Acquedotto Vina. Per ciò che concerne le risorse gestite dalla Regione Calabria si possono fare le seguenti considerazioni:

- La media degli emungimenti dai pozzi è di circa 40 l/s, mentre le captazioni da sorgente si attestano mediamente intorno ai 7 l/s.

I dati delle fonti di approvvigionamento comunale evidenziano invece che:

- La media degli emungimenti dai pozzi è di circa 8 l/s, mentre le captazioni da sorgente si attestano mediamente intorno ai 3,5 l/s.

Il servizio idropotabile dell'Ambito è caratterizzato dalla presenza di un gestore, la Regione Calabria con produzione sia interna che esterna all'Ambito. La Regione Calabria fornisce risorsa idropotabile alla quasi totalità dei Comuni dell'ATO ad eccezione di 11 Comuni. Vi sono poi una decina di Comuni che si approvvigionano esclusivamente dalla Regione, da cui acquistano la risorsa idrica, non avendo a disposizione risorse proprie. Oltre alla presenza della Regione Calabria è presente il Consorzio acquedottistico Vina, che ha la gestione di 3 comuni dell'Area Tirrenica, di cui gestisce sia l'adduzione che la distribuzione. Per il resto del territorio e per il servizio di distribuzione si registra esclusivamente la presenza di gestioni in economia da parte dei singoli comuni. Si possono ancora catalogare rispetto alla diffusione territoriale le seguenti tipologie di gestione:

▪ Gestioni interambito

Sono caratterizzate dalla gestione di sistemi interambito costituiti dal complesso delle reti di adduzione e di opere connesse che recapitano l'acqua prodotta, sia all'esterno che all'interno dell'ambito, ai sistemi locali di distribuzione. Per ciò

che riguarda la Regione Calabria la consistenza delle opere è notevole: gestisce infatti 83 acquedotti, per un totale di circa 3.140 km di condotte adduttrici. La Regione gestisce inoltre un totale di 273 tra serbatoi e partitori e 34 impianti di sollevamento.

▪ Gestioni intercomunali

L'unico gestore di servizi idrici intercomunali è, come detto, il Consorzio Vina, che gestisce l'adduzione e la distribuzione nei comuni di Palmi e Melicuccà e in parte di Seminara. La gestione riguarda un acquedotto, 1 sorgente, 4 serbatoi e 10 reti di distribuzione.

▪ Gestioni locali

Sono caratterizzate dalla gestione di impianti di adduzione locali e delle reti di distribuzione all'utenza, comprensive delle condotte idriche e delle opere complementari. La totalità delle gestioni locali è costituita dai comuni.

6.3.2 Applicazione al caso delle risorse idriche della regione Calabria

E' stata elaborata una prima applicazione del problema dei trasporti a scala regionale, al primo livello di approfondimento, considerando tutte le risorse idriche presenti sul territorio e i fabbisogni di tutti i comuni della regione.

I risultati del modello rappresentano uno strumento di valutazione di quella che sarebbe l'ottimale distribuzione delle risorse idriche disponibili, da confrontare con l'attuale distribuzione effettuata dai diversi sistemi acquedottistici operanti sul territorio.

6.3.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati

La prima attività ha riguardato la definizione del problema e la raccolta dei dati necessari per la formulazione del problema stesso.

Per la raccolta dei dati si è fatto riferimento all' "Accertamento dello stato delle opere, degli impianti di acquedotto e fognature nel mezzogiorno" effettuato dalla Sogesid S.p.A.(2000).

Per quanto riguarda i **nodi origine**, sono state raccolte tutte le informazioni circa

le disponibilità idriche della regione. Per tutte le sorgenti, le derivazioni e i pozzi sono state determinate le coordinate geometriche in Gauss-Boaga attraverso l'utilizzo di ArcGis 8.1, e la rispettive portate.

I dati sono stati organizzati in forma tabellare riportando in colonne la numerazione progressiva delle opere, un codice identificativo per ciascuna opera (uguale a quello utilizzato nell'“Accertamento dello stato delle opere, degli impianti di acquedotto e fognature nel mezzogiorno”), il valore della portata (l/s) e il volume medio annuo (m³/anno). Vista la grande dimensione della tabella, essa è completamente descritta in ALL.6.1, mentre di seguito se ne riporta un esempio schematico.

Num.	Cod_ID	Coordinate		Portata (l/s)	Portata (m ³ /anno)
		E(m)	N(m)		
1	180100G0001S0001	593021,58	4398711,38	6	189216
2	180100G0001S0002	594013,71	4398553,9	3	94608
3	180100G0002S0001	588100,33	4375061,82	3	94608
4	180100G0002S0002	586825,88	4373355,61	3,5	110376
5	180100G0003S0001	617773,61	4368224,48	10	315360
6	180100G0003S0002	623532,2	4369669,62	8	252288
7	180100G0003S0003	623331,41	4368531,83	11	346896
8	180100G0003S0005	628073,91	4376578,03	0,4	12614,4
9	180100G0003S0006	625353,45	4375255,2	3	94608
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
1006	180400G3004S0005	593253,54	4276318,11	4	126144
1007	180400G0002P0001	607804,22	4268212,53	1,5	47304
1008	180400G0003P0001	585896,42	4281824,93	3,5	110376
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
1514	180500G0075F0001	605392,61	4260537,05	25	788400

Tabella 6.3 Esempio schematico dei dati relativi ai nodi origine

Per quanto riguarda i **nodi destinazione**, si è fatto riferimento all'orizzonte temporale del 2032 considerando le stime della popolazione residente e fluttuante effettuate nella ricognizione delle opere dalla Sogesid (2000).

L'attuale livello delle perdite in rete per tutti gli Ambiti Territoriali Ottimali è considerevole, visto che esso è circa il 52% per l'A.T.O.1, il 45% per l'A.T.O.2, il 31% per l'A.T.O.3, il 55% per l'A.T.O. 4, il 56% per l'A.T.O. 5, per un complessivo valore medio regionale del 47,8%.

Questo elevato valore delle perdite richiede, allo stato attuale, l'utilizzo di ingenti quantità di risorse, notevolmente superiori a quelle effettivamente necessarie per il bilancio disponibilità-fabbisogno.

I necessari futuri investimenti per il contenimento di tali perdite e il ripristino ai valori fisiologici accettabili, imporranno una ridefinizione dell'uso delle risorse e delle opere presenti sul territorio e una riduzione degli acquisti da terzi.

Il modello di ottimizzazione proposto si inserisce, perciò, proprio in tale contesto costituendo uno dei possibili strumenti decisionali da adottare per tale ridefinizione puntando a un utilizzo più razionale e sostenibile delle disponibilità idriche.

Per tali motivi, l'applicazione del problema dei trasporti a scala regionale è stata effettuata nell'ipotesi di perdite fisiologiche in rete e fabbisogni futuri delle diverse utenze regionali.

Nello specifico, le dotazioni unitarie prese a riferimento per la determinazione dei fabbisogni sono:

- **Popolazione residente:** dotazione lorda di base di 200 l/ab/g (corrispondente alla dotazione minima netta prevista dal D.P.C.M. del 4 marzo 1996, pari a 150 l/ab/g) cui si aggiunge un incremento per tener conto dell'incidenza dei consumi urbani collettivi, variabile in funzione della classe demografica del comune, secondo lo schema seguente:

Classe demografica	Incremento di dotazione (l/ab/g)	Fabbisogno lordo (ab. residenti) (l/ab/g)
< 5.000	60	260
5.000 – 10.000	80	280
10.000 – 50.000	100	300
50.000 – 100.000	120	320
> 100.000	140	340

- **Popolazione fluttuante:** dotazione idrica lorda di 200 l/ab/g per un totale di 90 giorni per anno.

I calcoli effettuati, mostrati schematicamente nella successiva tabella, sono completamente descritti nell'ALL.6.2

Comune	Pop. residente	Pop. fluttuante	Pop. Totale	Dotazione idrica		Fabbisogni residenti (l/s)	Fabbisogni fluttuanti (l/s)	Fabbisogni totali (l/s)	Fabbisogni residenti (m ³ /anno)	Fabbisogni fluttuanti (m ³ /anno)	Fabbisogni totali (m ³ /anno)
				Residenti (l/ab/g)	Fluttuanti (l/ab/g)						
Acquafornosa	1289	894	2183	260	200	3,9	2,1	5,9	122326,1	16092	138418,1
Acquappesa	2065	17400	19465	260	200	6,2	40,3	46,5	195968,5	313196,1	509164,6
Aciri	21725	6684	28409	300	200	75,4	15,5	90,9	2378887,5	120304,6	2499192,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acquaro	3046	648	3694	260	200	9,2	1,5	10,7	289065,4	11664	300729,4
Arena	1799	796	2595	260	200	5,4	1,8	7,3	170725,1	14328	185053,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Villa San Giovanni	13119	5312	18431	300	200	45,6	12,3	57,8	1436530,5	95616	1532146,5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	2.004.936	1.571.349	3.576.285			6.722,5	3.637,4	10.359,9	212.001.066,6	28.835.775,4	240.836.842

Tabella 6.4 Esempio del calcolo dei fabbisogni per tutti i comuni della regione

Per ciascun comune è stato inoltre calcolato il baricentro del poligono rappresentante i confini amministrativi, da intendersi quale posizione del nodo destinazione.

Coordinate e fabbisogni sono stati, infine, riassunti in una tabella insieme alla numerazione progressiva e al nome del comune, come descritto in ALL.6.3 e schematicamente rappresentato nella seguente tabella.

Num.	Denominazione	Coordinate		Fabbisogni (l/s)	Fabbisogni (m ³ /anno)
		E(m)	N(m)		
1	Acquaformosa	593426,28	4398436,29	5,9	138418,10
2	Acquappesa	584132,07	4371304,16	46,5	509164,6
3	Acri	620678,85	4373151,59	90,9	2182007,1
4	Aiello Calabro	601838,39	4330576,7	9,3	243632,8
5	Aieta	571850,38	4418354,88	4,4	97682,8
6	Albidona	628768,03	4420071,22	7,6	186368,9
7	Alessandria del C.	619507,3	4424751,51	4,7	90068,5
8	Altilia	608385,61	4331452,43	3,2	80020,8
9	Altomonte	600126,7	4393697,89	16	445465,7
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
263	Acquaro	605323,71	4265346,56	10,7	300729,40
264	Arena	609745,6	4266671	7,3	185053,10
265	Briatico	588066,65	4283536,67	37,1	582169,40
266	Brognauro	621748	4271645,14	2,8	76761,40
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
409	Villa San Giovanni	556565,1	4231182,12	57,8	1532146,5

Tabella 6.5 Esempio schematico delle coordinate e dei fabbisogni dei nodi destinazione

Il costo c_{ij} di trasferimento dell'unità di risorsa dalla i -esima origine alla j -esima destinazione, è legato alla distanza intercorrente tra il nodo origine i e il nodo destinazione j . Si può pertanto scrivere:

$$c_{ij} = c' \cdot L_{ij}$$

in cui L_{ij} è la distanza tra l'origine i -esima e la destinazione j -esima e c' è il costo di risorsa trasportata per unità di percorso e unità di merce. Il valore di c' può essere, per questo livello di approfondimento, lasciato in forma parametrica potendosi assumere uguale per tutti i possibili collegamenti, non inficiando tale assunzione il risultato del modello.

Per l'implementazione del modello è tuttavia necessario stimare i valori L_{ij} , ossia determinare la distanza tra ciascuna origine e tutte le altre destinazioni. Avendo calcolato le coordinate geografiche di ciascun nodo origine e di ciascun nodo destinazione, tali distanze possono essere stimate come distanze tra due punti di note coordinate. E' stata così costruita una tabella che riporta per ciascuna opera la distanza da tutti i comuni della regione. Costruita tale tabella, la tabella dei costi si ottiene semplicemente moltiplicando ciascun termine della tabella delle distanze per il valore di c' .

Le due tabelle ottenute sono completamente descritte negli ALL.6.4-6.5 e schematicamente rappresentate di seguito.

Origine	Distanza (m)								
	Destinazione								
	Acquafornosa	Acquappesa	Acri	Alello C.	Ateta	-	-	-	Villa San Giovanni
180100G0001S0001	489	28813	37659	68703	28881	-	-	-	171450
180100G0001S0002	599	28986	36828	68426	29720	-	-	-	171510
180100G0002S0001	23974	5465	32634	46558	46242	-	-	-	147295
180100G0002S0002	25935	3386	33854	45337	47426	-	-	-	145358
180100G0003S0001	38801	33782	5720	40881	67985	-	-	-	150090
180100G0003S0002	41640	39434	4502	44709	71002	-	-	-	153829
180100G0003S0003	42292	39297	5327	43618	71642	-	-	-	152718
180100G0003S0005	39455	41410	5126	50489	68703	-	-	-	159652
180100G0003S0006	38077	41824	6677	52820	67192	-	-	-	162017
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180400G3004S0005	122118	95423	100642	54934	143640	-	-	-	58166
180400G0002P0001	131015	105775	105726	62649	154387	-	-	-	63219
180400G0003P0001	116854	89497	97726	51292	137251	-	-	-	58524
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180500G0075F0001	138417	112789	113647	70130	161343	-	-	-	56972

Tabella 6.6 Esempio schematico della tabella delle distanze

Origine	Costo unitario di trasferimento $\begin{pmatrix} 1 \\ e' - \\ s \end{pmatrix}$									
	Destinazione									
	Acquafornosa	Acquappesa	Acri	Aiello C.	Aiella	-	-	-	-	Villa San Giovanni
180100G0001S0001	489 . c'	28813 . c'	37659 . c'	68703 . c'	28881 . c'	-	-	-	-	171450 . c'
180100G0001S0002	599 . c'	28986 . c'	36828 . c'	68426 . c'	29720 . c'	-	-	-	-	171510 . c'
180100G0002S0001	23974 . c'	5465 . c'	32634 . c'	46558 . c'	46242 . c'	-	-	-	-	147295 . c'
180100G0002S0002	25935 . c'	3386 . c'	33854 . c'	45337 . c'	47426 . c'	-	-	-	-	145358 . c'
180100G0003S0001	38801 . c'	33782 . c'	5720 . c'	40881 . c'	67985 . c'	-	-	-	-	150090 . c'
180100G0003S0002	41640 . c'	39434 . c'	4502 . c'	44709 . c'	71002 . c'	-	-	-	-	153829 . c'
180100G0003S0003	42292 . c'	39297 . c'	5327 . c'	43618 . c'	7164 . c'	-	-	-	-	152718 . c'
180100G0003S0005	39455 . c'	41410 . c'	5126 . c'	50489 . c'	68703 . c'	-	-	-	-	159652 . c'
180100G0003S0006	38077 . c'	41824 . c'	6677 . c'	52820 . c'	67192 . c'	-	-	-	-	162017 . c'
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180400G3004S0005	122118 . c'	95423 . c'	100642 . c'	54934 . c'	143640 . c'	-	-	-	-	58166 . c'
180400G0002P0001	131015 . c'	105775 . c'	105726 . c'	62649 . c'	154387 . c'	-	-	-	-	63219 . c'
180400G0003P0001	116854 . c'	89497 . c'	97726 . c'	51292 . c'	137251 . c'	-	-	-	-	58524 . c'
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180500G0075F0001	138417 . c'	112789 . c'	113647 . c'	70130 . c'	161343 . c'	-	-	-	-	56972 . c'

Tabella 6.7 Esempio schematico della tabella dei costi

6.3.2.2 Formulazione del modello matematico

Definito il problema è stato costruito il modello matematico. In questo caso le variabili decisionali sono le quantità di risorsa idrica trasferite da origine a destinazione, x_{ij} che devono essere determinate. La variabile x_{ij} rappresenta, perciò, la portata di risorsa idrica che l'opera i -esima (sorgente, pozzo, derivazione) deve fornire alla j -esima destinazione (j -esimo comune). Si è detto che un problema dei trasporti ammette soluzioni ammissibili se e solo se

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Nel nostro caso avremo:

$$\sum_{i=1}^m a_i = 15015,4 \text{ l/s} \quad \sum_{j=1}^n b_j = 10359,9 \text{ l/s}$$

ossia

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$$

Come detto in precedenza, in tali circostanze è possibile riformulare il problema in modo da soddisfare il suddetto requisito introducendo una *destinazione fittizia* che tenga conto dello scostamento fra le quantità disponibili e quella necessarie. A tale destinazione fittizia verrà attribuito un fabbisogno pari a:

$$b_{\text{destinazione fittizia}} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j = 4655,5 \text{ l/s}$$

e un costo di trasferimento pari a zero.

Il problema è caratterizzato, pertanto da:

- 1514 nodi origine, m ;
- 410 nodi destinazione, n ;
- 620740 variabili decisionali da determinare, x_{ij} .

La matrice dei trasporti assume, pertanto, la forma schematicamente rappresentata di seguito e integralmente descritta nell'ALL. 6.6.

	Costo unitario di trasporto $\begin{pmatrix} 1 \\ \epsilon / - \\ s \end{pmatrix}$										Disponibilità (l/s)
	Destinazione										
	Acquaformosa	Acquappesa	Acri	Aiello C.	-	-	-	Villa San Giovanni	Destinazione Fittizia		
o r i g i n e	180100G0001S0001	489 · c' X_{1-1}	28813 · c' X_{1-2}	37659 · c' X_{1-3}	68703 · c' X_{1-4}	-	-	-	171450 · c' X_{1-409}	0 X_{1-410}	6
	180100G0001S0002	599 · c' X_{2-1}	28986 · c' X_{2-2}	36828 · c' X_{2-3}	68426 · c' X_{2-4}	-	-	-	171510 · c' X_{2-409}	0 X_{2-410}	3
	180100G0002S0001	23974 · c' X_{3-1}	5465 · c' X_{3-2}	32634 · c' X_{3-3}	46558 · c' X_{3-4}	-	-	-	147295 · c' X_{3-409}	0 X_{3-410}	3
	180100G0002S0002	25935 · c' X_{4-1}	3386 · c' X_{4-2}	33854 · c' X_{4-3}	45337 · c' X_{4-4}	-	-	-	145358 · c' X_{4-409}	0 X_{4-410}	3,5
	180100G0003S0001	38801 · c' X_{5-1}	33782 · c' X_{5-2}	5720 · c' X_{5-3}	40881 · c' X_{5-4}	-	-	-	150090 · c' X_{5-409}	0 X_{5-410}	10
	180100G0003S0002	41640 · c' X_{6-1}	39434 · c' X_{6-2}	4502 · c' X_{6-3}	44709 · c' X_{6-4}	-	-	-	153829 · c' X_{6-409}	0 X_{6-410}	8
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180400G3004S0005	122118 · c' X_{1006-1}	95423 · c' X_{1006-2}	100642 · c' X_{1006-3}	54934 · c' X_{1006-4}	-	-	-	58166 · c' $X_{1006-409}$	0 $X_{1006-410}$	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180500G0075F0001	138417 · c' X_{1514-1}	112789 · c' X_{1514-2}	113647 · c' X_{1514-3}	70130 · c' X_{1514-4}	-	-	-	56972 · c' $X_{1514-409}$	0 $X_{1514-410}$	25	
Fabbisogni (l/s)	5,9	46,5	90,9	9,3	-	-	-	57,8	4655,5	$\sum a_i = \sum b_j$	

Tabella 6.8 Esempio schematico di matrice di trasporto

A questo punto è possibile scrivere la funzione obiettivo e i vincoli.

min Z

$$Z = \sum_{i=1}^{1539} \sum_{j=1}^{410} c_{ij} x_{ij}$$

soggetto a vincoli

$$\sum_{j=1}^{410} x_{ij} = a_i \quad \forall i=1,2,\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^{1539} x_{ij} = b_j \quad \forall j=1,2,\dots,n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j$$

Ossia:

✓ **Funzione obiettivo**

$$Z = c_{1-1}x_{1-1} + c_{1-2}x_{1-2} + c_{1-3}x_{1-3} + \dots + c_{1514-410}x_{1514-410}$$

✓ **Vincoli**

$$x_{1-1} + x_{1-2} + x_{1-3} + \dots + x_{1-410} = a_1$$

$$x_{2-1} + x_{2-2} + x_{2-3} + \dots + x_{2-410} = a_2$$

-

$$x_{1514-1} + x_{1514-2} + x_{1514-3} + \dots + x_{1514-410} = a_{1514}$$

Vincoli sulle disponibilità

$$x_{1-1} + x_{2-1} + x_{3-1} + \dots + x_{1514-1} = b_1$$

$$x_{1-2} + x_{2-2} + x_{3-2} + \dots + x_{1514-2} = b_2$$

-

$$x_{1-410} + x_{2-410} + x_{3-410} + \dots + x_{1514-410} = b_{410}$$

Vincoli sui fabbisogni

$$x_{1-1} \geq 0$$

$$x_{1-2} \geq 0$$

-

-

$$x_{1514-410} \geq 0$$

Vincoli di non negatività

6.3.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello

Per la risoluzione del problema, visto l'onere computazionale, si è utilizzato il solver CPLEX 8.0.1 che è un software in grado di trovare una soluzione (qualora esista) per il generico problema di ottimizzazione una volta che questo sia stato “tradotto” mediante un linguaggio di modellazione per la programmazione matematica. CPLEX è in grado di risolvere Problemi Lineari e Problemi Lineari Interi, attraverso due differenti modalità d'uso. La prima modalità d'uso e la più semplice, è la modalità interattiva: in questa modalità CPLEX si presenta come una qualsiasi altra applicazione con cui si interagisce a riga di comando. Si ha la possibilità di descrivere il modello secondo una sintassi comoda e intuitiva o di importarlo da un file; si possono assegnare valori opportuni ai parametri per configurare l'ottimizzatore, e si può chiedere l'ottimizzazione dell'istanza. L'ottimizzazione può essere interrotta per assegnare un valore diverso a uno dei parametri per poi essere ripresa. In alternativa, le funzionalità di CPLEX sono a disposizione sotto forma di libreria linkabile in modo dinamico. In questo modo è possibile usare CPLEX come solver a scatola chiusa all'interno di un'applicazione, in modo che l'utente dell'applicazione non debba interagire direttamente con il solver. I risultati ottenuti dalla risoluzione del modello sono costituiti dalle 620740 variabili x_{ij} , che permettono, quindi di stabilire quanta risorsa la generica origine può fornire alla generica destinazione. Si è ottenuto, pertanto, un insieme di collegamenti origini (sorgenti, pozzi, derivazioni) – comuni, che rappresenta la corretta distribuzione degli approvvigionamenti potabili sul territorio calabrese. Per rendere tale insieme facilmente “leggibile”, è stata creata una matrice simile a quella di trasporto in cui in ogni cella è indicato il valore numerico della corrispondente variabile decisionale. Laddove non è presente trasferimento di risorsa tra la origine e destinazione, il valore della cella è, ovviamente, pari a zero. Per quanto riguarda, invece, la destinazione fittizia, la portata trasferita dalla generica origine a tale destinazione, non essendo quest'ultima una destinazione reale, è da considerarsi risorsa idrica di surplus che rimane all'origine stessa e che, quindi, potrebbe, se necessario, essere resa disponibile per altri usi. I risultati ottenuti sono riportati in ALL.6.7; di seguito, invece, se ne riporta un esempio.

	Destinazione								Disponibilità (l/s)	
	Acquaformosa	Acquappesa	Acri	Aiello C.	-	-	-	Villa San Giovanni		Destinazione Fittizia
180100G0001S0001	5,95	0	0	0	-	-	-	0	0	6
180100G0001S0002	0	0	0	0	-	-	-	0	0	3
180100G0002S0001	0	0	0	0	-	-	-	0	0	3
180100G0002S0002	0	0	0	0	-	-	-	0	0	3,5
180100G0003S0001	0	0	10	0	-	-	-	0	0	10
180100G0003S0002	0	0	8	0	-	-	-	0	0	8
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180400G3004S0005	0	0	0	0	-	-	-	0	0	4
180400G0002P0001	0	0	0	0	-	-	-	0	0	1,5
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180500G0075F0001	0	0	0	0	-	-	-	-	22	25
Fabbisogni (l/s)	5,95	46,49	90,91	9,34	-	-	-	57,85	4655,5	$\sum a_i = \sum b_j$

Tabella 6.9 Esempio schematico dei risultati del modello dei trasporti per la regione Calabria

6.4 APPLICAZIONE DEL PROBLEMA DEI TRASPORTI ALL'AMBITO TERRITORIALE OTTIMALE "CALABRIA 3 – CROTONE"

Il problema dei trasporti, per come in precedenza descritto, può essere applicato anche a scala di Ambito Territoriale Ottimale. In tal caso, l'applicazione di tale problema permette il corretto utilizzo delle risorse idriche all'interno del sistema idrico integrato, il miglioramento del livello di efficienza gestionale del servizio, la risoluzione di eventuali specifici e locali problemi di approvvigionamento.

Un esempio di tale applicazione è stato fatto per l'Ambito Territoriale Ottimale "Calabria 3 – Crotone", con l'obiettivo di dimostrare l'adattabilità del modello di ottimizzazione proposto alle diverse scale territoriali, nonché le modalità di implementazione del problema dei trasporti al secondo livello di approfondimento. Grazie, infatti, al minor numero di dati e alla minore complessità degli schemi acquedottistici, per l'A.T.O.3 è stato possibile effettuare l'applicazione del modello anche al *secondo livello di approfondimento*, considerando i reali schemi idrici presenti sul territorio.

Ovviamente, si è proceduto per fasi successive effettuando prima l'applicazione al primo livello di approfondimento, considerando solo le opere di approvvigionamento e i fabbisogni, per poi proseguire con il secondo livello di approfondimento tenendo in conto anche i reali schemi e collegamenti presenti sul territorio.

6.4.1 Applicazione del problema dei trasporti al primo livello di approfondimento

Come fatto per la scala regionale, per il primo livello di approfondimento è stato necessario raccogliere tutti i dati relativi alle sorgenti, alle derivazioni e ai pozzi presenti sul territorio dell'Ambito e tutti i dati relativi ai fabbisogni delle utenze ricadenti nel territorio stesso. Raccolte le informazioni necessarie, costruite le tabelle delle distanze e dei costi, si è formulato il problema matematico e attraverso il solver LINGO 8.0 si è determinata la soluzione.

6.4.1.1 Definizione del problema e raccolta dei dati

Dai dati raccolti per l'applicazione del problema dei trasporti a scala regionale, si

sono estratti quelli relativi all'A.T.O. in esame. Per quanto riguarda le disponibilità, complessivamente si hanno 29 sorgenti, 3 derivazioni e 7 pozzi, mentre per quanto riguarda le utenze si hanno 27 comuni con un fabbisogno totale, tra residenti e fluttuanti, di circa 21 Mm³/anno. I dati sono stati organizzati in tabelle come mostrato di seguito.

Num.	Cod_ID	Coordinate		Portata (l/s)	Portata (m ³ /anno)
		E(m)	N(m)		
1	180300G0002S0001	653022,56	4344542,09	3	94608
2	180300G0005S0001	648885,7	4344929,56	0,5	15768
3	180300G0005S0002	648868,99	4346073,09	0,5	15768
4	180300G0009S0001	644157,06	4338659,29	5	157680
5	180300G0009S0002	644197,13	4339530,01	4	126144
6	180300G0013S0001	679573,65	4316909,26	5	157680
7	180300G0015S0001	651304,04	4327065,13	20	630720
8	180300G0015S0002	653475,67	4327069,5	1	31536
9	180300G0015S0003	653613,76	4326067,2	3	94608
10	180300G0017S0001	644689,37	4332443,27	1	31536
11	180300G0023S0001	650087,95	4358064,71	3	94608
12	180300G1001S0001	651547,48	4353258,63	100	3153600
13	180300G1001S0002	639161,78	4333449,22	7	220752
14	180300G1001S0003	640444,05	4333936,74	75	2365200
15	180300G1001S0004	643287,78	4334911,06	24	756864
16	180300G1001S0005	645063,01	4334802,41	3,5	110376
17	180300G1001S0006	641128,69	4334338,47	47	1482192
18	180300G1001S0007	645242,92	4335636,54	8	252288
19	180300G1001S0008	649354,99	4333660,6	6	189216
20	180300G1001S0009	645471,71	4332579,69	40	1261440
21	180300G1001S0010	644306,91	4332419,14	15	473040
22	180300G1001S0011	645376,2	4329756,68	2,5	78840
23	180300G1001S0012	644338,11	4330543,38	18	567648
24	180300G1001S0013	647579,17	4334481,05	15	473040
25	180300G1001S0014	640624,34	4337722,52	5	157680
26	180300G1001S0015	642766,36	4339822,98	60	1892160
27	180300G1001S0016	641815,29	4337487,55	25	788400
28	180300G1001S0017	644675,51	4339165,57	14,1	444657,6
29	180300G3006S0001	644090,87	4332676,47	4	126144
30	180300G0011P0001	675180,71	4368900,78	1,27	40050,72
31	180300G0011P0002	675350,05	4368838,11	4,8	150111,36
32	180300G0011P0003	673282,19	4369828,36	4,8	150111,36
33	180300G0024P0001	673435,24	4336102,2	5	157680
34	180300G1001P0001	681546,94	4358007,37	80	2522880
35	180300G1001P0002	673805,88	4332971,55	20	630720
36	180300G1001P0003	666132,95	4316453,37	85	2680560
37	180300G1001F0001	648144,73	4353725,86	70	2207520
38	180300G2008F0001	663322,88	4339933,02	545	17187120
39	180300G3029L0001	678395,11	4319318,23	203,9	6430190,4

Tabella 6.10 Dati relativi ai nodi origine dell'A.T.O. "Calabria 3 – Crotonè"

Num.	Denominazione	Coordinate		Fabbisogni (l/s)	Fabbisogni (m ³ /anno)
		E(m)	N(m)		
1	Belvedere di Spinello	664939,04	4341875,63	8,5	242683
2	Caccuri	656779,15	4342649,43	7,4	184960
3	Carfizzi	671649,36	4354986,53	3,5	89645,2
4	Casabona	669057,31	4345803,99	11,9	318136
5	Castelsilano	662075,94	4345663,91	4,8	128007,7
6	Cerenzia	657332,79	4346918,51	5,0	136983,9
7	Ciro'	675159,81	4361557,81	15,2	376916,6
8	Ciro' Marina	681997,32	4359959,1	68,8	1688770,5
9	Cotronei	647978,29	4337388,09	55,4	854618
10	Crotone	679938,34	4331080,48	252,2	7241620
11	Crucoli	672363,67	4367296,75	21,0	405131,3
12	Cutro	673573,2	4319790,14	81,4	1526209,5
13	Isola di Capo Rizzuto	681158,5	4314488,13	158,0	2402533,5
14	Melissa	677232,58	4352632,43	21,3	397536,5
15	Mesoraca	661869,6	4323605,67	37,9	843663
16	Pallagorio	665380,62	4353395,47	6,5	166570,3
17	Petilia Policastro	655096,68	4330175,05	38,6	1038628,8
18	Rocca di Neto	674513,36	4339937,99	11,7	333296,5
19	Roccabernarda	662680,61	4328360,24	19,3	582318,8
20	San Mauro Marchesato	666950,99	4328586,92	8,1	235447,5
21	San Nicola Dell'alto	670836,86	4349925,55	4,7	115268,5
22	Santa Severina	666991,74	4335434,89	8,0	228320,3
23	Savelli	651094,21	4354590,68	8,4	178378,7
24	Scandale	671821,5	4333689,33	11,6	317517,3
25	Strongoli	678457,94	4345467,49	41,9	796089,4
26	Umbriatico	666350,92	4359396,95	3,5	97017,7
27	Verzino	659264,21	4352371,89	8,2	233657,7

Tabella 6.11 Dati relativi ai comuni dell'A.T.O. "Calabria 3 – Crotone"

A questo punto è stata calcolata la tabella delle distanze, considerando la distanza tra ogni nodo origine (sorgente, pozzo, derivazione dell'A.T.O.) e tutti i comuni dell'Ambito. Essa è schematicamente rappresentata di seguito, mentre è interamente riportata nell'ALL.6.8.

Origine	Distanza (m)								
	Destinazione								
	<i>Belvedere di Spinello</i>	<i>Caccuri</i>	<i>Carfizzi</i>	<i>Casabona</i>	<i>Castelsilano</i>	-	-	-	<i>Verzino</i>
180300G0002S0001	12211	4206	21355	16084	9123	-	-	-	10013
180300G0005S0001	16341	8216	24886	20191	13211	-	-	-	12771
180300G0005S0002	16609	8619	24462	20190	13213	-	-	-	12155
180300G0009S0001	21029	13238	31975	25905	19239	-	-	-	20402
180300G0009S0002	20874	12963	31504	25640	18902	-	-	-	19797
180300G0013S0001	28939	34382	38893	30749	33660	-	-	-	40867
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180300G0011P0001	28901	32059	14355	23895	26677	-	-	-	22946
180300G0011P0002	28903	32105	14337	23878	26707	-	-	-	23019
180300G0011P0003	29171	31797	14931	24393	26636	-	-	-	22388
180300G0024P0001	10272	17897	18969	10644	14848	-	-	-	21576
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180300G3029L0001	26266	31806	36301	28084	30990	-	-	-	38191

Tabella 6.12 Esempio schematico della tabella delle distanze per l'A.T.O. "Calabria 3 – Crotona"

Calcolata la tabella delle distanze, quella di costo si ottiene, come visto in precedenza, moltiplicando ogni termine della matrice delle distanze per il costo unitario c' (ALL.6.9).

Origine	Costo unitario $\left(\begin{matrix} 1 \\ e' - \\ s \end{matrix} \right)$								
	Destinazione								
	<i>Belvedere di Spinello</i>	<i>Caccuri</i>	<i>Carfizzi</i>	<i>Casabona</i>	<i>Castelsilano</i>	-	-	-	<i>Verzino</i>
180300G0002S0001	12211 · c'	4206 · c'	21355 · c'	16084 · c'	9123 · c'	-	-	-	10013 · c'
180300G0005S0001	16341 · c'	8216 · c'	24886 · c'	20191 · c'	13211 · c'	-	-	-	12771 · c'
180300G0005S0002	16609 · c'	8619 · c'	24462 · c'	20190 · c'	13213 · c'	-	-	-	12155 · c'
180300G0009S0001	21029 · c'	13238 · c'	31975 · c'	25905 · c'	19239 · c'	-	-	-	20402 · c'
180300G0009S0002	20874 · c'	12963 · c'	31504 · c'	25640 · c'	18902 · c'	-	-	-	19797 · c'
180300G0013S0001	28939 · c'	34382 · c'	38893 · c'	30749 · c'	33660 · c'	-	-	-	40867 · c'
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180300G0011P0001	28901 · c'	32059 · c'	14355 · c'	23895 · c'	26677 · c'	-	-	-	22946 · c'
180300G0011P0002	28903 · c'	32105 · c'	14337 · c'	23878 · c'	26707 · c'	-	-	-	23019 · c'
180300G0011P0003	29171 · c'	31797 · c'	14931 · c'	24393 · c'	26636 · c'	-	-	-	22388 · c'
180300G0024P0001	10272 · c'	17897 · c'	18969 · c'	10644 · c'	14848 · c'	-	-	-	21576 · c'
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180300G3029L0001	26266 · c'	31806 · c'	36301 · c'	28084 · c'	30990 · c'	-	-	-	38191 · c'

Tabella 6.13 Esempio schematico della tabella dei costi per l'A.T.O. "Calabria 3 – Crotone"

6.4.1.2 Formulazione del modello matematico

In questo caso le variabili decisionali x_{ij} che devono essere determinate sono le quantità di risorsa idrica trasferite da ogni opera di approvvigionamento presente sul territorio dell'Ambito ai comuni dell'Ambito stesso.

Nel caso in esame avremo che la sommatoria delle disponibilità è pari a:

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1534,8 \text{ l/s}$$

mentre i fabbisogni totali sono:

$$\sum_{j=1}^n b_j = 922,8 \text{ l/s}$$

Anche in questo caso avremo perciò:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$$

E' necessario, allora, formulare il problema introducendo una destinazione fittizia che tenga conto dello scostamento fra le quantità reali e le quantità massime che vengono distribuite. A tale destinazione fittizia verrà attribuito un fabbisogno pari a:

$$b_{\text{destinazione fittizia}} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j = 612 \text{ l/s}$$

e un costo di trasferimento pari a zero.

Il problema è caratterizzato, pertanto da:

- 39 nodi origine, m ;
- 28 nodi destinazione, n ;
- 1092 variabili decisionali da determinare, x_{ij} .

La matrice dei trasporto assume pertanto schematicamente la seguente forma mentre nell'ALL. 6.10 è riportata totalmente.

	Costo unitario $\begin{pmatrix} 1 \\ \epsilon/- \\ s \end{pmatrix}$										Disponibilità (l/s)
	Destinazione										
	Belvedere di Spinello	Caccuri	Carfizzi	Casabona	-	-	Verzino	Destinazione Fittizia			
180300G0002S0001	12211 · c'	4206 · c'	21355 · c'	16084 · c'	-	-	10013 · c'	0	X ₁₋₂₈	3	
	X ₁₋₁	X ₁₋₂	X ₁₋₃	X ₁₋₄			X ₁₋₂₇				
180300G0005S0001	16341 · c'	8216 · c'	24886 · c'	20191 · c'	-	-	12771 · c'	0	X ₂₋₂₈	0,5	
	X ₂₋₁	X ₂₋₂	X ₂₋₃	X ₂₋₄			X ₂₋₂₇		X ₂₋₂₈		
180300G0005S0002	16609 · c'	8619 · c'	24462 · c'	20190 · c'	-	-	12155 · c'	0	X ₃₋₆	0,5	
	X ₃₋₁	X ₃₋₂	X ₃₋₃	X ₃₋₄			X ₃₋₂₇				
180300G0009S0001	21029 · c'	13238 · c'	31975 · c'	25905 · c'	-	-	20402 · c'	0	X ₄₋₂₈	5	
	X ₄₋₁	X ₄₋₂	X ₄₋₃	X ₄₋₄			X ₄₋₂₇		X ₄₋₂₈		
180300G0009S0002	20874 · c'	12963 · c'	31504 · c'	25640 · c'	-	-	19797 · c'	0	X ₅₋₂₈	4	
	X ₅₋₁	X ₅₋₂	X ₅₋₃	X ₅₋₄			X ₅₋₂₇				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180300G0011P0001	28901 · c'	32059 · c'	14355 · c'	23895 · c'	-	-	22946 · c'	0	X ₃₀₋₂₈	1,27	
	X ₃₀₋₁	X ₃₀₋₂	X ₃₀₋₃	X ₃₀₋₄			X ₃₀₋₂₇		X ₃₀₋₂₈		
180300G0011P0002	28903 · c'	32105 · c'	14337 · c'	23878 · c'	-	-	23019 · c'	0	X ₃₁₋₂₈	4,76	
	X ₃₁₋₁	X ₃₁₋₂	X ₃₁₋₃	X ₃₁₋₄			X ₃₁₋₂₇		X ₃₁₋₂₈		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180300G3029L0001	26266 · c'	31806 · c'	36301 · c'	28084 · c'	-	-	38191 · c'	0	X ₃₉₋₂₈	203,9	
	X ₃₉₋₁	X ₃₉₋₂	X ₃₉₋₃	X ₃₉₋₄			X ₃₉₋₂₇		X ₃₉₋₂₈		
Fabbisogni (l/s)	8,5	7,4	3,5	11,9	-	-	8,2	612		$\sum a_i = \sum b_j$	

Tabella 6.14 Esempio schematico della matrice di trasporto dell'A.T.O. "Calabria 3 - Crotonese"

A questo punto è possibile scrivere la funzione obiettivo e i vincoli.

min Z

$$Z = \sum_{i=1}^{39} \sum_{j=1}^{28} c_{ij} x_{ij}$$

soggetto a vincoli

$$\sum_{j=1}^{28} x_{ij} = a_i \quad \forall i=1,2,\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^{39} x_{ij} = b_j \quad \forall j=1,2,\dots,n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j$$

Ossia:

✓ **Funzione obiettivo**

$$Z = c_{1-1}x_{1-1} + c_{1-2}x_{1-2} + c_{1-3}x_{1-3} + \dots + c_{39-28}x_{39-28}$$

✓ **Vincoli**

$$x_{1-1} + x_{1-2} + x_{1-3} + \dots + x_{1-28} = a_1$$

$$x_{2-1} + x_{2-2} + x_{2-3} + \dots + x_{2-28} = a_2$$

-

$$x_{39-1} + x_{39-2} + x_{39-3} + \dots + x_{39-28} = a_{39}$$

Vincoli sulle disponibilità

$$x_{1-1} + x_{2-1} + x_{3-1} + \dots + x_{39-1} = b_1$$

$$x_{1-2} + x_{2-2} + x_{3-2} + \dots + x_{39-2} = b_2$$

-

$$x_{1-28} + x_{2-28} + x_{3-28} + \dots + x_{39-28} = b_{28}$$

Vincoli sui fabbisogni

$$x_{1-1} \geq 0$$

$$x_{1-2} \geq 0$$

-

-

$$x_{39-28} \geq 0$$

Vincoli di non negatività

6.4.1.3 Determinazione delle soluzioni del modello

Per la risoluzione del modello si è utilizzato il solver LINGO 8.0, che è un pacchetto software che permette di formulare e risolvere problemi di ottimizzazione di tipo lineare consentendone l'analisi delle soluzioni ottenute.

Il linguaggio utilizzato consente di esprimere il modello in modo simile alla notazione matematica standard e di esprimere i vincoli in un'unica espressione compatta realizzando, così, un modello semplice da gestire. Inoltre, i dati possono essere acquisiti da foglio elettronico, basi di dati o da un file di tipo testo.

Processamento dati

Un insieme è un gruppo di oggetti simili. Ciascun membro dell'insieme può essere caratterizzato da uno o più attributi. Tutti i membri dello stesso insieme hanno lo stesso insieme di attributi. I valori degli attributi possono essere noti e, quindi, rappresentano dei dati del problema, oppure non essere noti e, quindi, rappresentano delle variabili. Il LINGO riconosce due tipi di insiemi:

1. primitivi;
2. derivati.

Un insieme primitivo è un insieme composto solo da oggetti che non possono essere ulteriormente ridotti. Un insieme derivato è invece definito usando uno o più insiemi già definiti.

Prima di usare un insieme in un modello LINGO si deve definire l'insieme stesso in una sezione specifica che inizia con la parola chiave SETS e termina con la parola chiave ENDSETS .

Insiemi Primitivi

Per definire un insieme primitivo nella sezione insiemi occorre specificare:

1. il nome dell'insieme;
2. i suoi membri;
3. opzionalmente, gli attributi che i membri dell'insieme possono avere.

La definizione di un insieme primitivo presenta la seguente sintassi:

setname / member_list / [: attribute_list];

Il *setname* è un nome che viene scelto per indicare l'insieme.

Una *member_list* è la lista degli oggetti che costituiscono l'insieme *setname*. Gli oggetti possono essere elencati in maniera esplicita o implicita

Gli oggetti dell'insieme possono essere caratterizzati da uno o più attributi specificati nella *attribute_list*. Un attributo è semplicemente una qualsiasi proprietà che ciascun oggetto dell'insieme possiede.

Insiemi Derivati

Per definire un insieme derivato nella sezione insiemi occorre specificare:

1. il nome dell'insieme;
2. gli insiemi da dove deriva;
3. opzionalmente, i suoi membri;
4. opzionalmente, gli attributi che i membri dell'insieme possono avere.

La definizione di un insieme derivato presenta la seguente sintassi:

setname(parent_set_list) [/ member_list /] [: attribute_list];

Il *setname* è un nome che viene scelto per indicare l'insieme.

La *parent_set_list* è una lista di insiemi precedentemente definiti separati da virgole.

La *member_list* è opzionale ed è usata quando si vuole limitare l'insieme ad essere un sottoinsieme di tutte le possibili combinazioni derivate dagli insiemi della *parent_list*.

La Sezione Dati

Tipicamente nella costruzione di un modello LINGO si dovranno assegnare dei valori ad alcuni degli attributi. Con questo scopo in LINGO si ha una sezione specifica di dati che inizia con la parola chiave DATA: e termina con la parola chiave ENDDATA .

In questa sezione si possono inizializzare gli attributi degli insiemi definiti nella sezione insiemi con la seguente sintassi:

attribute_list = value_list;

La *attribute_list* contiene i nomi degli attributi che si vogliono inizializzare,

opzionalmente separati da virgole.

La *value_list* contiene i valori che si vogliono assegnare agli attributi della *attribute_list*, opzionalmente separati da virgole.

Nella sezione dati si può anche avere un richiamo @OLE a Excel.

Funzioni

Le funzioni in LINGO che permettono di applicare una certa operazione a tutti i membri di un insieme sono quattro:

@FOR Usata per generare vincoli sui membri di un insieme.

@SUM Calcola la somma di un'espressione su tutti i membri di un insieme.

@MIN Calcola il minimo di un'espressione su tutti i membri di un insieme.

@MAX Calcola il massimo di un'espressione su tutti i membri di un insieme.

La sintassi per una di queste funzioni è la seguente:

@function(setname [(set_index_list) [| conditional_qualifier]] : expression_list);

Il simbolo @function corrisponde a una delle quattro funzioni appena elencate.

Il simbolo *setname* è il nome dell'insieme su cui si opera.

La *set_index_list* è opzionale ed è usata per creare una lista di indici, ciascuno dei quali corrisponde ad uno degli insiemi primitivi da cui deriva l'insieme specificato nel *setname*.

Il *conditional_qualifier* è opzionale e può essere usato per limitare il raggio di azione della funzione.

L'*expression_list* è una lista di espressioni da applicare a ciascun membro dell'insieme *setname*.

Usando la funzione @FOR l'*expression list* può contenere più espressioni separate da “;” . Queste espressioni verranno aggiunte al modello come vincoli. Usando le rimanenti tre funzioni (@SUM, @MAX e @MIN) l'*expression list* deve contenere una sola espressione. Se la *set_index_list* è omessa, tutti gli attributi che compaiono nella *expression_list* devono essere definiti sull'insieme *setname*.

Utilizzando tale solver il problema è stato così implementato:

```

MODEL:

! Problema dei trasporti per le risorse idriche dell'ATO3 al 1°
  livello di approfondimento;
! I dati sono importati dal file ATO3_1°livello.XLS,
  e le soluzioni sono esportate sullo steso file;

SETS:
  WAREHOUSE/@OLE( 'C:\LINGO8\SAMPLES\ATO3_1°livello.XLS')/ :
    CAPACITY;
  CUSTOMER /@OLE( 'C:\LINGO8\SAMPLES\ATO3_1°livello.XLS')/ : DEMAND;
  ROUTES( WAREHOUSE, CUSTOMER) : COST, VOLUME;
ENDSETS

! Funzione obiettivo;
  [OBJ] MIN = @SUM( ROUTES: COST * VOLUME);

! Vincoli sulle domande;
  @FOR( CUSTOMER( J): [DEM]
    @SUM( WAREHOUSE( I): VOLUME( I, J)) >= DEMAND( J));

! Vincoli sulle disponibilità;
  @FOR( WAREHOUSE( I): [SUP]
    @SUM( CUSTOMER( J): VOLUME( I, J)) <= CAPACITY( I));

! Parametri;
  DATA:
    CAPACITY, DEMAND, COST =
  @OLE("\LINGO8\SAMPLES\ATO3_1°livello.XLS");
  @OLE( "\LINGO8\SAMPLES\ATO3_1°livello.XLS", "VOLUME") = VOLUME;
  ENDDATA

END

```

Al fine della modellazione abbiamo definito:

- “Warehouse” i nodi origine (sorgenti, pozzi, derivazioni);
- “Customer” i nodi destinazione (Comuni);
- “Capacity” le disponibilità dei nodi origine;
- “Demand” i fabbisogni dei nodi destinazione;
- “Cost” la matrice dei costi;
- “Volume” le variabili decisionali incognite.

I risultati ottenuti, ossia i valori delle variabili x_{ij} , sono riportati nella seguente tabella. Tutte le altre variabili x_{ij} che non compaiono nella tabella assumono

valore zero, essendo nullo il trasferimento di risorsa dai corrispondenti nodi origine ai nodi destinazione.

Variabile x_{ij}	Valore (l/s)	Variabile x_{ij}	Valore (l/s)
x_{1-6}	3	x_{27-28}	25
x_{2-28}	0,5	x_{28-9}	14,1
x_{3-6}	0,5	x_{29-28}	4
x_{4-9}	5	x_{30-11}	1,3
x_{5-9}	4	x_{31-11}	4,8
x_{6-13}	5	x_{32-11}	4,8
x_{7-17}	20	x_{33-10}	5
x_{8-17}	1	x_{34-7}	11,2
x_{9-17}	3	x_{34-8}	68,8
x_{10-28}	1	x_{35-10}	20
x_{11-11}	3	x_{36-12}	47,1
x_{12-6}	1,5	x_{36-15}	37,9
x_{12-11}	7,3	x_{37-28}	70
x_{12-23}	8,4	x_{38-1}	8,5
x_{12-26}	3,5	x_{38-2}	7,4
x_{12-27}	8,2	x_{38-3}	3,6
x_{12-28}	71,1	x_{38-4}	11,9
x_{13-28}	7	x_{38-5}	4,8
x_{14-28}	7,5	x_{38-7}	4
x_{15-9}	5,8	x_{38-10}	210,5
x_{15-28}	18,2	x_{38-14}	21,3
x_{16-9}	3,5	x_{38-16}	6,5
x_{17-28}	47	x_{38-18}	11,7
x_{18-9}	8	x_{38-19}	19,3
x_{19-17}	6	x_{38-20}	8,1
x_{20-17}	6,1	x_{38-21}	4,7
x_{20-28}	33,9	x_{38-22}	8
x_{21-28}	15	x_{38-24}	11,6
x_{22-17}	2,5	x_{38-25}	41,9
x_{23-28}	18	x_{38-28}	161,4
x_{24-9}	15	x_{39-10}	16,6
x_{25-28}	5	x_{39-12}	34,4
x_{26-28}	60	x_{39-13}	153

Tabella 6.15 Valori delle incognite del problema

Come per i risultati dell'applicazione a scala regionale, l'insieme dei collegamenti risultanti dal modello è stato rappresentato in forma matriciale, per come descritto in ALL.6.11. Tuttavia, essendo il numero di tale insieme non eccessivamente elevato, i collegamenti sono stati riportati in forma tabellare come mostrato di seguito.

Codice_ID	Comune	Portata (l/s)	Codice_ID	Comune	Portata (l/s)
180300G0002S0001	Cerenzia	3,0	180300G1001S0016	Destinazione F.	25,0
180300G0005S0001	Destinazione F.	0,5	180300G1001S0017	Cotronei	14,1
180300G0005S0002	Cerenzia	0,5	180300G3006S0001	Destinazione F.	4,0
180300G0009S0001	Cotronei	5,0	180300G0011P0001	Crucoli	1,3
180300G0009S0002	Cotronei	4,0	180300G0011P0002	Crucoli	4,8
180300G0013S0001	Isola di C.R.	5,0	180300G0011P0003	Crucoli	4,8
180300G0015S0001	Petilia P.	20,0	180300G0024P0001	Crotone	5,0
180300G0015S0002	Petilia P.	1,0	180300G1001P0001	Cirò	11,2
180300G0015S0003	Petilia P.	3,0	180300G1001P0001	Cirò Marina	68,8
180300G0017S0001	Destinazione F.	1,0	180300G1001P0002	Crotone	20,0
180300G0023S0001	Crucoli	3,0	180300G1001P0002	Cutro	47,1
180300G1001S0001	Cerenzia	1,5	180300G1001P0003	Mesoraca	37,9
	Crucoli	7,3	180300G1001F0001	Destinazione F.	70,0
	Savelli	8,4	180300G2008F0001	Belvedere di S.	8,5
	Umbriatico	3,5		Caccuri	7,4
	Verzino	8,2		Carfizzi	3,6
Destinazione F.	71,1	Casabona		11,9	
180300G1001S0002	Destinazione F.	7,0		Castelsilano	4,8
180300G1001S0003	Destinazione F.	75,0		Cirò	4,0
180300G1001S0004	Cotronei	5,8		Crotone	210,5
	Destinazione F.	18,2		Melissa	21,3
180300G1001S0005	Cotronei	3,5		Pallagorio	6,5
180300G1001S0006	Destinazione F.	47,0		Rocca di Neto	11,7
180300G1001S0007	Cotronei	8,0	Rocca Bernarda	19,3	
180300G1001S0008	Petilia P.	6,0	San Mauro M.	8,1	
180300G1001S0009	Petilia P.	6,1	San Nicola	4,7	
	Destinazione F.	33,9	Santa Severina	8,0	
180300G1001S0010	Destinazione F.	15,0	Scandale	11,6	
180300G1001S0011	Petilia P.	2,5	Strongoli	41,9	
180300G1001S0012	Destinazione F.	18,0	Destinazione F.	161,4	
180300G1001S0013	Cotronei	15,0	180300G3029L0001	Crotone	16,6
180300G1001S0014	Destinazione F.	5,0		Cutro	34,3
180300G1001S0015	Destinazione F.	60,0		Isola di Capo R.	153,0

Tabella 6.16 Collegamenti risultanti dal modello

6.4.2 Applicazione del problema dei trasporti al secondo livello di approfondimento

L'applicazione del problema dei trasporti al secondo livello di approfondimento consiste nell'implementare il modello considerando gli schemi reali presenti sul territorio. Questa assunzione comporta un cambiamento nella precedente matrice dei costi in quanto laddove una generica origine sia collegata a una generica destinazione il valore corrispondente del costo sarà posto pari a zero essendo il possibile collegamento infrastrutturale già esistente.

6.4.2.1 Definizione del problema e raccolta dei dati

Per quanto riguarda i dati necessari al problema, essi rimangono identici ai precedenti. Al secondo livello di approfondimento è necessario, però, ricavare informazioni sugli schemi acquedottistici reali, ossia capire come ciascun opera di approvvigionamento sia collegata, attraverso sistemi infrastrutturali, ai diversi comuni dell'Ambito.

CODICE ID	COMUNE SERVITO
180300G0002S0001	Caccuri
180300G0005S0001	CastelSilano
180300G0005S0002	CastelSilano
180300G0009S0001	Cotronei
180300G0009S0002	Cotronei
180300G0013S0001	Isola Capo Rizzuto
180300G0015S0001	Mesoraca
180300G0015S0002	Mesoraca
180300G0015S0003	Mesoraca
180300G0017S0001	Petilia Policastro
180300G0023S0001	Savelli
180300G1001S0001	Savelli, Verzino, Ubriatico, Carfizzi, Pallagorio, Casabona, Belvedere Spinello, San Nicola, Strongoli, Crucoli, Cirò, Cirò Marina
180300G1001S0002	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0003	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0004	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0005	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0006	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0007	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0008	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0009	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0010	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0011	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0012	Petilia Policastro, Mesoraca, Rocca Bernarda, Cutro, Isola Capo Rizzuto
180300G1001S0013	Petilia Policastro
180300G1001S0014	Cotronei
180300G1001S0015	Cotronei
180300G1001S0016	Cotronei
180300G1001S0017	Cotronei
180300G3006S0001	Crotone
180300G0011P0001	Crucoli
180300G0011P0002	Crucoli
180300G0011P0003	Crucoli
180300G0024P0001	Scandale
180300G1001P0001	Cirò Marina, Strongoli, Crotone
180300G1001P0002	Scandale
180300G1001P0003	Isola di Capo Rizzuto
180300G1001F0001	Savelli, Verzino, Ubriatico, Carfizzi, Pallagorio, Casabona, Belvedere Spinello, San Nicola, Strongoli, Crucoli, Cirò, Cirò Marina
180300G2008F0001	Belvedere Spinello, Rocca di Neto, Crotone
180300G3029L0001	Crotone, Cutro, Isola di Capo Rizzuto

Tabella 6.17 Comuni serviti dalle diverse opere di approvvigionamento

6.4.2.2 Formulazione del modello matematico

Nell'implementazione del problema al secondo livello di approfondimento, i parametri del modello, per ciò che attiene disponibilità, fabbisogni e distanze, rimangono uguali al caso del primo livello di approfondimento. La tabella dei costi subirà, invece, delle modifiche sulla base dei reali collegamenti esistenti tra le opere e i comuni; nel caso in cui, infatti, un'opera alimenta una determinata utenza, il costo per il trasferimento della risorsa è nullo essendo già presenti le infrastrutture necessarie. La tabella dei costi, sarà pertanto caratterizzata da una serie di zeri in corrispondenza di nodi origini e nodi destinazioni che sono già interessati da distribuzione di risorsa.

La matrice di trasporto, riportata integralmente nell'ALL. 6.12, è schematicamente descritta di seguito.

	Costo unitario $\begin{pmatrix} 1 \\ \epsilon / - \\ s \end{pmatrix}$										Disponibilità (l/s)
	Destinazione										
	Belvedere di Spinello	Caccuri	Carfizzi	Casabona	-	-	Verzino	Destinazione Fittizia			
O r i g i n e	180300G0002S0001	12211 · c'	0	21355 · c'	16084 · c'	-	-	10013 · c'	0	3	
		X ₁₋₁	X ₁₋₂	X ₁₋₃	X ₁₋₄	-	-	X ₁₋₂₇	X ₁₋₂₈		
	180300G0005S0001	16341 · c'	8216 · c'	24886 · c'	20191 · c'	-	-	12771 · c'	0	0,5	
		X ₂₋₁	X ₂₋₂	X ₂₋₃	X ₂₋₄	-	-	X ₂₋₂₇	X ₂₋₂₈		
	180300G0005S0002	16609 · c'	8619 · c'	24462 · c'	20190 · c'	-	-	12155 · c'	0	0,5	
		X ₃₋₁	X ₃₋₂	X ₃₋₃	X ₃₋₄	-	-	X ₃₋₂₇	X ₃₋₆		
	180300G0009S0001	21029 · c'	13238 · c'	31975 · c'	25905 · c'	-	-	20402 · c'	0	5	
		X ₄₋₁	X ₄₋₂	X ₄₋₃	X ₄₋₄	-	-	X ₄₋₂₇	X ₄₋₂₈		
	180300G0009S0002	20874 · c'	12963 · c'	31504 · c'	25640 · c'	-	-	19797 · c'	0	4	
		X ₅₋₁	X ₅₋₂	X ₅₋₃	X ₅₋₄	-	-	X ₅₋₂₇	X ₅₋₂₈		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	180300G0011P0001	28901 · c'	32059 · c'	14355 · c'	23895 · c'	-	-	22946 · c'	0	1,27	
	X ₃₀₋₁	X ₃₀₋₂	X ₃₀₋₃	X ₃₀₋₄	-	-	X ₃₀₋₂₇	X ₃₀₋₂₈			
180300G0011P0002	28903 · c'	32105 · c'	14337 · c'	23878 · c'	-	-	23019 · c'	0	4,76		
	X ₃₁₋₁	X ₃₁₋₂	X ₃₁₋₃	X ₃₁₋₄	-	-	X ₃₁₋₂₇	X ₃₁₋₂₈			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
180300G3029L0001	26266 · c'	31806 · c'	36301 · c'	28084 · c'	-	-	38191 · c'	0	203,9		
	X ₃₉₋₁	X ₃₉₋₂	X ₃₉₋₃	X ₃₉₋₄	-	-	X ₃₉₋₂₇	X ₃₉₋₂₈			
Fabbisogni (l/s)	8,5	7,4	3,5	11,9	-	-	8,2	612	$\sum a_i = \sum b_j$		

Tabella 6.18 Esempio schematico della tabella dei costi per l'A.T.O. "Calabria 3 – Crotona"

6.4.2.3 Determinazione delle soluzioni del modello

Per la risoluzione del modello si è utilizzato ancora LINGO 8.0.

```

MODEL:

! Problema dei trasporti per le risorse idriche dell'ATO3 al 2°
livello di approfondimento;
! I dati sono importati dal file ATO3_2°livello.XLS,
  e le soluzioni sono esportate sullo steso file;

SETS:
  WAREHOUSE/@OLE( 'C:\LINGO8\SAMPLES\ATO3_2°livello.XLS')/ :
CAPACITY;
  CUSTOMER /@OLE( 'C:\LINGO8\SAMPLES\ATO3_2°livello.XLS')/ : DEMAND;
  ROUTES( WAREHOUSE, CUSTOMER) : COST, VOLUME;
ENDSETS

! Funzione obiettivo;
[OBJ] MIN = @SUM( ROUTES: COST * VOLUME);

! Vincoli sui fabbisogni;
@FOR( CUSTOMER( J): [DEM]
  @SUM( WAREHOUSE( I): VOLUME( I, J)) >= DEMAND( J));

! Vincoli sulle disponibilità;
@FOR( WAREHOUSE( I): [SUP]
  @SUM( CUSTOMER( J): VOLUME( I, J)) <= CAPACITY( I));

! Parametri;
DATA:
  CAPACITY, DEMAND, COST = @OLE(
"\LINGO8\SAMPLES\ATO3_2°livello.XLS");
  @OLE( "\LINGO8\SAMPLES\ATO3_2°livello.XLS", "VOLUME") =
VOLUME;
ENDDATA

```

I risultati ottenuti sono riportati di seguito.

Variabile x_{ij}	Valore (l/s)	Variabile x_{ij}	Valore (l/s)
x_{1-2}	3	x_{26-9}	12,34
x_{2-5}	0,5	x_{26-28}	47,66
x_{3-5}	0,5	x_{27-9}	15
x_{4-28}	5	x_{28-9}	14,1
x_{5-9}	4	x_{29-28}	4
x_{6-28}	5	x_{30-28}	1,27
x_{7-28}	20	x_{31-28}	4,78
x_{8-28}	1	x_{32-28}	4,78
x_{9-28}	3	x_{33-24}	5
x_{10-17}	1	x_{34-14}	21,29
x_{11-28}	3	x_{34-25}	41,9
x_{12-6}	5	x_{34-28}	16,81
x_{12-7}	15,24	x_{35-20}	8,07
x_{12-8}	68,78	x_{35-24}	6,62
x_{12-11}	7,44	x_{35-28}	5,31
x_{12-26}	3,53	x_{36-28}	85
x_{13-17}	7	x_{37-3}	3,55
x_{14-12}	70,68	x_{37-4}	11,86
x_{14-13}	4,32	x_{37-11}	13,61
x_{15-12}	4,7	x_{37-16}	6,46
x_{15-19}	19,3	x_{37-21}	4,66
x_{16-17}	3,5	x_{37-23}	8,33
x_{17-17}	12,07	x_{37-27}	8,23
x_{17-28}	34,93	x_{37-28}	13,25
x_{18-28}	8	x_{38-1}	8,5
x_{19-12}	6	x_{38-2}	4,42
x_{20-13}	37,56	x_{38-5}	3,76
x_{20-15}	2,44	x_{38-10}	252,15
x_{21-15}	15	x_{38-18}	11,74
x_{22-15}	2,5	x_{38-22}	7,97
x_{23-15}	18	x_{38-28}	256,47
x_{24-17}	15	x_{39-13}	116,08
x_{25-28}	5	x_{39-28}	87,82

Tabella 6.19 Risultati delle variabili

Il sistema di collegamenti elaborato dal modello è stato descritto in forma matriciale (ALL.6.13) e in forma tabellare come mostrato di seguito.

Codice_ID	Comune	Portata (l/s)	Codice_ID	Comune	Portata (l/s)
180300G0002S0001	Caccuri	3	180300G1001S0015	Cotronei	12,34
180300G0005S0001	Castelsilano	0,5	180300G1001S0016	DestinazioneF	47,66
180300G0005S0002	Castelsilano	0,5	180300G1001S0017	Cotronei	15
180300G0009S0001	Destinazione F.	5	180300G3006S0001	Cotronei	14,1
180300G0009S0002	Cotronei	4	180300G0011P0001	DestinazioneF	4
180300G0013S0001	Destinazione F.	5	180300G0011P0002	destinazione	1,27
180300G0015S0001	Destinazione F.	20	180300G0011P0003	DestinazioneF	4,78
180300G0015S0002	Destinazione F.	1	180300G0011P0003	DestinazioneF	4,78
180300G0015S0003	Destinazione F.	3	180300G0024P0001	Scandale	5
180300G0017S0001	Petilia P.	1	180300G1001P0001	Melissa	21,29
180300G0023S0001	Destinazione F.	3	180300G1001P0001	Strangoli	41,9
180300G1001S0001	Cerenzia	5	180300G1001P0001	DestinazioneF	16,81
	Cirò	15,24	180300G1001P0002	San Mauro	8,07
	Cirò Marina	68,78	180300G1001P0002	Scandale	6,62
	Crucoli	7,44	180300G1001P0002	DestinazioneF	5,31
	Umbriatico	3,53	180300G1001P0003	DestinazioneF	85
180300G1001S0002	Petilia P.	7	180300G1001F0001	Carfizzi	3,55
180300G1001S0003	Cutro	70,68		Casabona	11,86
180300G1001S0004	Isola di C.R.	4,32		Crucoli	13,61
	Cutro	4,7		Pallagorio	6,46
180300G1001S0005	Rocca B.	19,3		San Nicola	4,66
180300G1001S0006	Petilia P.	3,5	Savelli	8,33	
180300G1001S0006	Petilia P.	12,07	Verzino	8,23	
	Destinazione F.	34,93	DestinazioneF	13,25	
180300G1001S0007	Destinazione F.	8	180300G2008F0001	Belvedere S.	8,5
180300G1001S0008	Cutro	6		Caccuri	4,42
180300G1001S0009	Isola di C.R.	37,56		Castelsilano	3,76
	Mesoraca	2,44		Crotone	252,15
180300G1001S0010	Mesoraca	15		Rocca di Neto	11,74
180300G1001S0011	Mesoraca	2,5	S. Severina	7,97	
180300G1001S0012	Mesoraca	18	DestinazioneF	256,47	
180300G1001S0013	Petilia P.	15	180300G3029L0001	Isola di C. R.	116,08
180300G1001S0014	Destinazione F.	5	180300G3029L0001	DestinazioneF	87,82

Tabella 6.20 Comuni da servire secondo il modello

Confrontando i risultati ottenuti dall'implementazione del problema dei trasporti al primo livello di approfondimento con quelli ottenuti per il secondo livello di approfondimento si osserva uno scostamento dei collegamenti predetti, per effetto delle infrastrutture di collegamento esistenti. Utilizzando i risultati del primo livello di approfondimento, una volta effettuate tutte le necessarie rielaborazioni a causa dei vincoli di reale fattibilità dei collegamenti nel sistema reale, si ottiene quella che può essere definita una *soluzione ottimale* di distribuzione delle risorse idriche sul territorio analizzato.

I risultati ottenuti al secondo livello di approfondimento, anch'essi rielaborati e modificati di volta in volta sulla base delle necessarie e successive iterazioni del

modello, rappresentano, invece, gli elementi per la determinazione della *soluzione ottimale* di distribuzione della risorsa sulla base del sistema infrastrutturale esistente. Spingendo tale ultima applicazione a ulteriori livelli di approfondimento è possibile risolvere tutta una serie di specifici problemi di gestione delle risorse idriche del servizio idrico integrato.

CONCLUSIONI

Il concetto di sostenibilità non è un concetto nuovo anche se, negli ultimi anni, l'incremento degli effetti negativi delle attività antropiche sull'ambiente e gli ecosistemi, gli squilibri sulla distribuzione dei beni, le disuguaglianze economiche, ecc., hanno reso la necessità di perseguire obiettivi sostenibili non più trascurabile e rinviabile.

Diversi sono, pertanto, gli studi intrapresi da istituzioni ed enti di ricerca finalizzati all'elaborazione di metodologie e criteri per la misura e quantificazione della sostenibilità.

La sostenibilità coinvolge molteplici aspetti, da quelli ambientali, a quelli sociali, a quelli economici, fino a quelli istituzionali. Stante la complessità dei fattori coinvolti, individuare quali sono gli obiettivi da considerare sostenibili, per un dato settore di attività, come raggiungere tali obiettivi e come tradurli in concreta applicazione, non è, pertanto, semplice o immediato.

La maggior parte dei modelli finora elaborati affronta tali problematiche partendo da un'analisi globale, valutando obiettivi e problematiche di sostenibilità generali, a livello nazionale e sovranazionale, per individuare condizioni complessive di equilibrio tra i fattori ambientali, sociali, economici e istituzionali della società nel suo complesso.

Oltre a questa importante e necessaria visione globale degli aspetti di sostenibilità e degli obiettivi comuni che devono essere perseguiti, la possibilità di includere il concetto di sostenibilità tra i diversi criteri adottati per effettuare scelte politiche e decisionali, richiede l'elaborazione di modelli a scala regionale e locale, che possano costituire strumenti idonei di supporto per l'elaborazione di piani e strategie di programmazione e di intervento nei diversi settori.

In tale direzione, nella presente attività di ricerca, si è cercato di individuare possibili approcci modellistici per applicare i concetti di sviluppo sostenibile al campo della gestione delle risorse idriche.

La partecipazione al progetto "EPSILON" (Environmental Policy via Sustainability Indicators on a European-wide NUTS III level), che è un progetto di ricerca finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del quale sono stati

sviluppati un modello matematico e uno strumento software per misurare la sostenibilità a livello regionale e provinciale nei 15 Stati dell'Unione Europea prima dell'allargamento, ha permesso di analizzare importanti aspetti della sostenibilità e della costruzione di modelli capaci di misurare e confrontare i livelli di sostenibilità per diverse realtà. L'attività di ricerca svolta nell'ambito di tale progetto ha, infatti, permesso di affrontare questioni fondamentali relative a come effettuare misure di sostenibilità, come selezionare set di indicatori in grado di tenere in conto tutte le dimensioni della sostenibilità, come elaborare concettualmente e analiticamente strutture per l'aggregazione degli indicatori, come definire opportuni criteri per la valutazione della qualità e della disponibilità dei dati.

A partire dall'attività svolta in tale progetto di ricerca, si è elaborato un modello parametrico di sostenibilità delle risorse idriche a scala di Ambito Territoriale Ottimale. Tale modello, denominato "S.G.R.I.", si basa su una struttura gerarchica di indicatori, i quali sono legati ai sistemi naturali, ai sistemi artificiali e agli aspetti economici connessi con l'uso di tali risorse. L'utilizzo di tale modello consente una rapida valutazione delle azioni gestionali da attivare con riferimento ai diversi usi e alle diverse realtà del sistema Idrico Integrato.

Le prospettive che possono scaturire dalla messa a punto di tale modello sono molteplici e di grande interesse: da semplice strumento di *benchmarking* tra zone territoriali adiacenti e/o distanti, omogenee e/o disomogenee, a più complesso strumento di supporto alle decisioni da parte dei gestori dei Sistemi Idrici Integrati.

La sostenibilità del servizio idrico integrato implica anche l'avvio di ricerche inerenti i possibili criteri di ottimizzazione del servizio stesso. Molteplici e complessi sono, infatti, i problemi di ottimizzazione riscontrabili nella gestione dei sistemi idrici integrati, i quali possono essere affrontati attraverso idonei strumenti metodologici e modellistici. In avanzamento all'attività di ricerca sulla sostenibilità, pertanto, dopo aver definito i possibili criteri di ottimizzazione, è stata proposto un modello di ottimizzazione dell'uso e delle distribuzioni delle risorse idriche, attraverso il ricorso alle procedure della Ricerca Operativa. In particolare, il Problema dei trasporti, classico problema di gestione ottimale di risorse, è stato utilizzato per l'elaborazione del modello, implementato sia a scala regionale che a scala di Ambito Territoriale Ottimale. I risultati ottenuti rilevano buone prospettive

per gli sviluppi futuri della ricerca, puntando al raggiungimento di ulteriori livelli di ottimizzazione e alla costruzione di modelli in grado di affrontare le problematiche gestionali dei servizi idrici sulla base di criteri ottimali e sostenibili.

BIBLIOGRAFIA

- S. Baldi, *“L’indice di Sviluppo Umano delle Nazioni Unite. Vantaggi e limiti della misurazione sintetica dello sviluppo”*, Affari sociali internazionali n.3, Franco Angeli Editore, 1998.
- I. Blanc, D. Friot, M. Margni, O. Jolliet (2005a), *“Assessing environmental sustainability within the EPSILON project: First version of an innovative approach”*, 3rd Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment, 5-10 June 2005.
- I. Blanc, D. Friot, O. Jolliet (2005b), *“Weighting: a key step versus normalisation in aggregating a Sustainable Environmental Index”*, Sustainable development, 2005.
- I. Blanc, O. Jolliet, *“EPFL Working Document on Composite Indicators”*, 2003.
- J.P. Bruce, *“Meteorology and Hydrology for Sustainable Development”*, World Meteorological Organization No.769, Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland, 1992.
- F. Brioschi, A. Colorni, *“Ricerca operativa”*, Clup, Milano, 1973.
- F. Cenni, T. Corbière-Nicollier, O. Jolliet, M. Margni, *“Sustainability theories and mathematical modelling”*, Technical Report Epsilon Project, 2003.
- COM (2005a), *“Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - The 2005 Review of the EU Sustainable Development Strategy: Initial stocktaking and future orientations”*, 37, 9.2.2005.
- COM (2005b), *“Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - Draft Declaration on Guiding Principles for Sustainable Development”*, 218, 25.5.2005.
- CPS, *“Final report of the Sustainable Development Indicators Task-Force - Theme 70 - 2005/57/20/EN”*, 57th Meeting of the Statistical Programme Committee, Luxembourg 29 and 30 November 2005.
- S. De Julio, A. La Bella, *“Lezioni di ricerca operativa”*, Edizioni Scientifiche Siderea, 1973.
- D.C. Esty, M. A. Levy, T. Srebotnjak, A. de Sherbinin, C. H. Kim, B. Anderson, *“Pilot 2006 Environmental Performance Index”*, New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2006.

- EUROSTAT, *“Measuring Progress Towards a More Sustainable Europe”*, Luxemburg, 2001.
- M. Fischetti, *“Lezioni di Ricerca Operativa”*, Edizioni Libreria Progetto Padova, 1999.
- F.S. Hillier, G.J. Lieberman. *“Introduzione alla ricerca operativa”*, McGraw-Hill, 2005
- Institute for the Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Risk Management, *“State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development”*, 2002.
- International Institute for Sustainable Development (IISD), *“IISDnet, Measurement and Indicators for Sustainable Development 2002”*, 2002.
- O. Jolliet, D. Friot, I. Blanc, F. Cenni, T. Corbière-Nicollier, M. Margni, *“The sustainability model framework and indicators”*, Techincal Report Epsilon Project, 2003.
- D. P. Loucks, *“Sustainability criteria for water resources systems”*, ASCE, 1998.
- D. P. Loucks, *“Quantifyng system sustainability using multiple risk criteria. Risk, Reliability, Uncertainty, and Robustness of Water Resources Systems”*, Internarional Hydrology Series – Cambridge University Press, 2002.
- M. Maiolo, G. Greco, G. Bruno, G. Martirano, P. Morrone, D. Pantusa, M. Venuleio (2005a), *“Una metodologia proposta per lo sviluppo di applicazioni e per la validazione del modello EPSILON”*, Techincal Report Epsilon Project, 2005.
- M. Maiolo, G. Martirano, P. Morrone, D. Pantusa, *“A Sustainability Synthetic Territorial Index (ISST) to assess the sustainable management of water resources”* (2005b), 3rd Dubrovnik Conference of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia 5 – 10 June 2005.
- M. Maiolo, G. Martirano, P. Morrone, D. Pantusa (2006a), *“Stato dell’arte sui modelli di sostenibilità : nuovi orizzonti nella gestione delle risorse idriche”*, XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma 10-14 Settembre 2006.
- M. Maiolo, G. Martirano, P. Morrone, D. Pantusa (2006b), *“Assessment criteria for a sustainable management of water resources”*, Water Practice & Technology, IWA Publishing, agosto 2006.

- M. Maiolo, P. Morrone, D. Pantusa, *“Sugli effetti del riuso delle acque reflue urbane sui sistemi idrici integrati”*, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento 7-10 Settembre 2004. Editoriale Bios, 2004.
- M. Maiolo, P. Morrone, D. Pantusa (2006c), *“L’uso di risorse non convenzionali nella gestione dei sistemi idrici integrati : il caso dell’Alto Ionio Cosentino”*, XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma 10-14 Settembre 2006.
- M. Maiolo, D. Pantusa, *“Stato dell’arte della sostenibilità della gestione delle risorse idriche”*, 25° Corso di aggiornamento in *“Tecniche per la difesa dall’inquinamento”*, Guardia Piemontese Terme (CS), Maggio 2004, Editoriale Bios, 2005.
- C. Mannino, L. Palagi, M. Roma, *“Complementi ed Esercizi di Ricerca Operativa”*, Edizioni Ingegneria 2000, Roma, 1998.
- Monet, *“Structure du système et sélection des indicateurs”*, Projet Monet, Working document, Swiss Federal Statistical Office, 2001.
- G. Munda, M. Nardo, *“On the Methodological Foundations of Composite Indicators Used for Ranking Countries”*, Ispra, Italy: Joint Research Centre of the European Communities, 2003.
- H.P. Nachtnebel, *“Irreversibility and sustainability in water resources systems. Risk, Reliability, Uncertainty, and Robustness of Water Resources Systems”*, International Hydrology Series – Cambridge University Press, 2002.
- E. Neumayer, *“Weak versus strong sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms”* Cheltenham, UK Elgar, 1999.
- D. Pennington, C. Amman, T. Pelichet, M. Margni, O. Jolliet, *“Spatial Multimedia Chemical Fate and Human Exposure Model for Western Europe”*, Environ Sci & Technol, 2005.
- D. Pilolli, C. Tore, A. Murrau A., *“Qualità del servizio idrico integrato”*, Giornata di studio sul tema : *“Risultati di ricerche applicate sul razionale uso dell’acqua”*- Accademia dei Lincei, palazzo Corsini, Roma, 18 ottobre 1997.
- E. Ronchi, A. Federico, F. Musmeci, *“A system oriented integrated indicator for sustainable development in Italy”*, Ecological Indicators, 2: 197-210, 2002.
- M. Saisana, S. Tarantola, *“State-of-the-art Report on Current Methodologies and*

- Practices for Composite Indicator Development*”, EUR 20408 EN, Ispra: Applied Statistics Group, Institute for the Protection and Security of the Citizen, Joint Research Centre (JRC), 2002.
- M. Saisana et al., “*Uncertainty and Sensitivity Techniques as Tools for the Analysis and Validation of Composite Indicators*”, Journal of the Royal Statistical Society A. 168 (2):1-17, 2005.
- A. Sassano, “*Modelli e algoritmi della ricerca operativa*”, Franco Angeli Editore, 1999.
- SEC, “*Communication from mr. Almunia to the members of the Commission - Sustainable Development Indicators to monitor the implementation of the EU Sustainable Development Strategy*”, 161, 9.2.2005.
- L. Segnestam, “*Indicators of Environment and Sustainable Development*”, Washington, D.C., World Bank Environment Department, 2002.
- P. Serafini, “*Ottimizzazione*”, Zanichelli, 2004.
- Sogesid S.p.A “*Accertamento dello stato delle opere, degli impianti di acquedotto e fognature nel mezzogiorno*”, 2000.
- Sogesid S.p.A “*Piano d’Ambito – ATO I Cosenza*”, 2001.
- UN, “*Roadmap towards the implementation of the United Nations Millennium Declaration*”, Report of the Secretary General, New York, United Nations, 2001.
- United Nations General Assembly, “*United Nations Millennium Declaration*”, New York: United Nations, 55th Session, 2000.
- United Nations Statistics Division (UNSTATS), “*Millennium Development Goals Indicators Database*”, 2005.
- UN-CSD, “*Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*”, UN Commission on Sustainable Development, New York, 2001.
- UN-CSD, “*Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*”, UN Commission on Sustainable Development, New York, 1996.
- UNCSD, “*Report on the Aggregation of Indicators of Sustainable Development*”, New York, United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2001.
- UNDP, “*Human Development Report 2003*”, Oxford University Press, 2003.
- R. Vismara, G.L. Gurrieri, A. Ceriani, “*I servizi integrati per la gestione delle acque: il caso della Lombardia*”, Ingegneria Ambientale, 1999

WATECO - Working Group 2.6, “ *Economics and the environment - The implementation challenge of the Water Framework Directive*”, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) Guidance document n. 1, 2003.

WCED (World Commission on Environment and Development), “*Our common future*”, (The Brundtland Report), Oxford University Press, New York, 1987.

World Bank, “*Expanding the Measure of Wealth: Indicators of Environmentally Sustainable Development*”, Sustainable Development Studies and Monograph Series No. 17. W. Bank. Washington, D.C., 1997.

WWF, “*The living planet report 2002*”, Cambridge, UK, WWF, 2002.