

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

*DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA, INFORMATICA E SISTEMISTICA*

*CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA INFORMATICA*

TESI DI LAUREA

In

SISTEMI INTELLIGENTI M

**REALIZZAZIONE DI UNO STRUMENTO PER LA  
RIPARTIZIONE DEI FONDI EUROPEI NELL'AMBITO  
DEL PROGRAMMA OPERATIVO REGIONALE**

CANDIDATO

**Dott. Alberto Strade**

RELATORE:

**Chiar.mo Prof. Michela Milano**

CORRELATORE

**Dott. Marco Gavanelli**

Sessione I

Anno Accademico 2013/14



## SOMMARIO

Introduzione .....	4
1. Il Programma Operativo Regionale.....	6
1.1 Fondi strutturali .....	6
1.2 Programma Operativo Regionale .....	11
1.3 Analisi di contesto, il clima e la produzione di Co2.....	15
1.4 Dai sistemi informativi agli strumenti di supporto alle decisioni	18
1.5 Stato dell'arte: Co2mpare ed e-Policy .....	22
1.5.1 Co2mpare .....	22
1.5.2 Il progetto e-Policy.....	25
2. Realizzazione dello strumento per il POR .....	28
2.1 La Programmazione Logica a Vincoli .....	28
2.2 Il modello base del Global Optimizer.....	29
2.3 File e dati del modello .....	31
2.4 Il modello secondo la Programmazione Logica a Vincoli.....	32
2.5 Il codice dell'ottimizzatore .....	34
2.6 Ottimizzazione multi-obiettivo e il metodo Normalized Normal Constraint.....	38
3. Risultati dell'ottimizzatore .....	44
3.1 I risultati del predicato di ottimizzazione .....	44
3.2 Il programma di rappresentazione dati VisualApp.....	47
4. Conclusioni.....	49
Riferimenti .....	51
Ringraziamenti .....	53



## **Introduzione**

La costituzione dell'Unione Europea nel 1993 pose la questione del dover aiutare le regioni svantaggiate in essa contenute, allo scopo di promuovere i principi di eguaglianza appena stipulati. Allo stesso tempo si dovette cercare uno strumento per facilitare la collaborazione fra le regioni appartenenti all'Unione stessa.

Tale strumento sono i Fondi Strutturali Europei, un sistema di autofinanziamento utilizzato per promuovere progetti lavorativi, di cultura o di ricerca in tutta Europa.

La distribuzione dei fondi avviene secondo delle regole specifiche e spesso i temi verso cui i fondi vengono rivolti sono scelti di comune accordo tra i Paesi membri.

Le amministrazioni regionali hanno quindi la possibilità di usufruire di una notevole quantità di denaro, giustificando in modo appropriato la destinazione d'uso dei fondi e stilando dei piani che ne descrivano la loro suddivisione nei vari progetti.

In seguito all'evoluzione tecnologica degli anni '60 e '70 nacquero nuovi strumenti a favore delle aziende: i DSS (Decision Support System), descritti come "sistemi informatici a supporto del processo decisionale". L'uso di questa nuova tecnologia permise una facilitazione dei compiti decisionali, oltre ad un miglioramento delle prestazioni negli ambiti di applicazione.

Da tali premesse nascono diversi progetti che puntano ad utilizzare strumenti di supporto alle decisioni nei campi più diversi: amministrativo, medico, politico, culturale.

In particolare, l'area d'applicazione politica vive un grande fermento negli ultimi anni, grazie a strumenti in grado di aiutare la classe politica in decisioni su più livelli di scelta e su una grosse mole di dati. Un esempio fra gli altri è la redazione del Programma Operativo Regionale, il quale fa affidamento sui finanziamenti dei Fondi Strutturali Europei per potersi sostenere.

Negli ultimi anni la Regione Emilia-Romagna ha puntato molto sull'uso di strumenti informatici e automatizzati come aiuto nella compilazione di

progetti, piani operativi e preventivi di spesa, sviluppando delle collaborazioni con diversi Enti ed Università, tra le quali l'Università degli Studi di Bologna.

L'ultimo progetto realizzato in collaborazione con la Regione, e qui esposto, riguarda la realizzazione di uno strumento di supporto alle decisioni politiche per la ripartizione dei Fondi Europei, in particolare quelli destinati al Programma Operativo Regionale (POR).

Il lavoro qui esposto è suddiviso in quattro capitoli. Nel primo capitolo verrà approfondita l'analisi dei Fondi Strutturali Europei e della loro suddivisione, verrà analizzata la condizione economica-lavorativa della Regione Emilia-Romagna, sarà brevemente introdotto il concetto di Sistema di Supporto alle decisioni e se ne vedranno alcuni esempi recenti.

Il secondo capitolo sarà incentrato sullo strumento realizzato. Oltre a discutere brevemente della Programmazione Logica a Vincoli, verrà mostrato il modello base dell'ottimizzatore del piano POR, i vincoli da dover rispettare e la loro formalizzazione, soffermandosi sui predicati e i passaggi per la realizzazione dello strumento stesso.

Nel terzo capitolo verrà illustrata una panoramica sui risultati ottenuti con il Global Optimizer, con particolare riferimento ad alcuni obiettivi-test espressamente rilevanti per la Regione. Verrà quindi mostrato il VisualApp, una applicazione per una rappresentazione efficace e intuitiva dei dati anche a persone non esperte del settore informatico.

Infine nel quarto capitolo, si tireranno le somme del lavoro svolto, mostrando punti deboli e forze dello stesso, e consigliando degli sviluppi futuri per il progetto.

## **1. Il Programma Operativo Regionale (POR)**

### *1.1 Fondi Strutturali*

Sin dagli albori dell'Unione Europea, allo scopo di promuovere una maggiore eguaglianza tra le varie regioni appartenenti, si è pensato di creare uno strumento comune che permettesse l'aumento della competitività delle regioni disadattate e il sostegno della cooperazione tra le stesse.

I fondi strutturali sono lo strumento tramite il quale l'Unione Europea realizza tali obiettivi. Tramite una politica di interventi sul territorio, questi fondi vengono ripartiti in diverse aree:

- Creazione di nuovi posti di lavoro;
- Investimento nelle infrastrutture e nelle attività economiche locali;
- Trasferimento di tecnologie e di creazione di strumenti a supporto delle piccole e medie imprese;
- Investimento nel campo della sanità e dell'educazione;
- Promozione di nuove tecnologie, tutela dell'ambiente, pari opportunità...

I fondi strutturali sono erogati in cicli settennali e attualmente impiegano un terzo dell'intero bilancio dell'Unione Europea; per la precisione, nell'ultimo ciclo 2007-2013 i fondi erogati hanno raggiunto la somma di 335 miliardi di Euro. Tali fondi infatti, rappresentano la parte più rilevante dei finanziamenti europei, oltre ad essere uno dei più grossi capitoli di spesa dell'Unione stessa.

Nel ciclo settennale 2014-2020 i finanziamenti dei fondi strutturali verranno ripartiti in più sottofondi, ognuno rivolto ad aree funzionali diverse ed accessibili solo a particolari regioni.

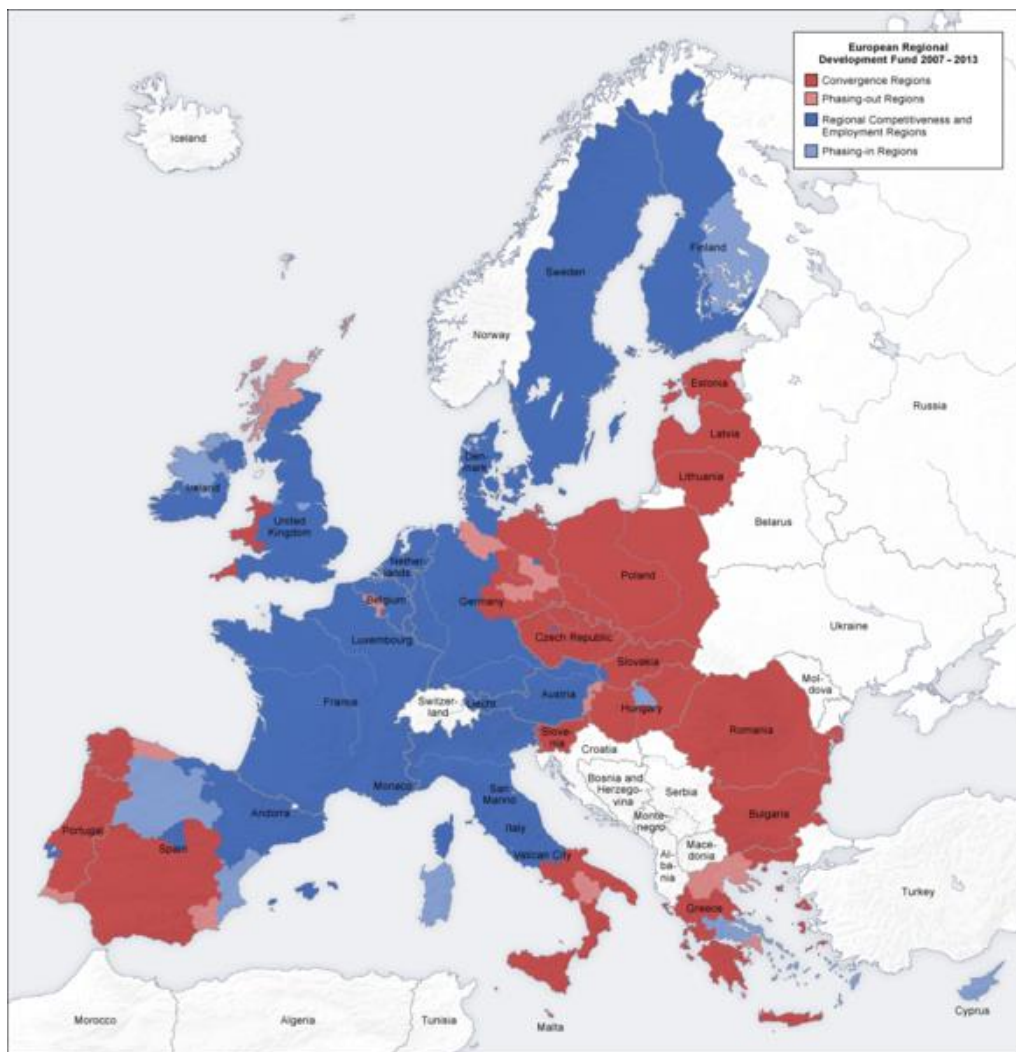
Il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) supporta programmi per lo sviluppo a indirizzo regionale, cambiamenti economici, aumento della competitività e cooperazione territoriale attraverso l'Unione Europea. Le priorità di tali fondi consistono nell'ammodernamento delle strutture economiche, nella creazione di posti di lavoro e di una crescita sostenibile, oltre alla ricerca e sviluppo ed alla protezione ambientale. [1]

Per quanto concerne lo sviluppo regionale, i fondi FESR contribuiscono a finanziare le seguenti misure

- Rinnovo e diversificazione delle strutture economiche
- Posti di lavoro sostenibili
- Stimolare la crescita economica
- Concentrazione sulle regioni remote, scarsamente popolate, di montagna e di frontiera
- Innovazione e conoscenza dell'economia (tramite sviluppo tecnologico e di ricerca, innovazione, ingegneria finanziaria)
- Ambiente e prevenzione dei rischi (come bonifica delle aree contaminate, efficienza energetica, trasporto pubblico urbano pulito)
- Accesso ai trasporti e alle telecomunicazioni
- Attività trans frontiera, sociali ed ambientali
- Cooperazione transnazionale, come cooperazioni bilaterali tra le regioni marittime
- Cooperazione interregionale, compresi scambi di esperienze tra autorità locali e regionali

L'ammontare di fondi differisce da un Paese all'altro in base alla sua ricchezza relativa. Le regioni dell'Unione Europea sono divise in più categorie, in una proporzione tra il loro Prodotto Interno Lordo e la media europea: regioni di convergenza con PIL minore del 75% della media EU-25, in cui il cofinanziamento dei progetti può raggiungere l'85% del costo totale; le regioni in transito verso l'esterno, con PIL superiore al 75% della media EU-25, ma minore del 75% della media EU-15; regioni in transito verso l'interno con PIL maggiore del 75% della media EU-15, ma minore del 75% della media EU-15 del 2000-2006, per cui i fondi semplicemente arricchiscono i fondi locali; regioni competitive, in cui sono presenti le regioni restanti. La distribuzione delle regioni nell'Unione Europea può essere visionato nella figura 1.





*Fig.1 Distribuzione dei fondi nelle regioni europee in base alla classificazione*

Il Fondo Sociale Europeo (FSE) mira a potenziare lo sviluppo di quattro aree principali: l'aumento di adattabilità dei lavoratori e delle imprese, il miglioramento dell'accesso all'impiego e alla partecipazione al mercato del lavoro, il rinforzo all'inclusione sociale combattendo le discriminazioni e facilitando l'accesso al lavoro per persone svantaggiate e promozione di collaborazioni per riformare i settori dell'impiego. E' quindi lo strumento finanziario principale per supportare l'impiego nell'Unione Europea e promuovere una coesione sociale ed economica.

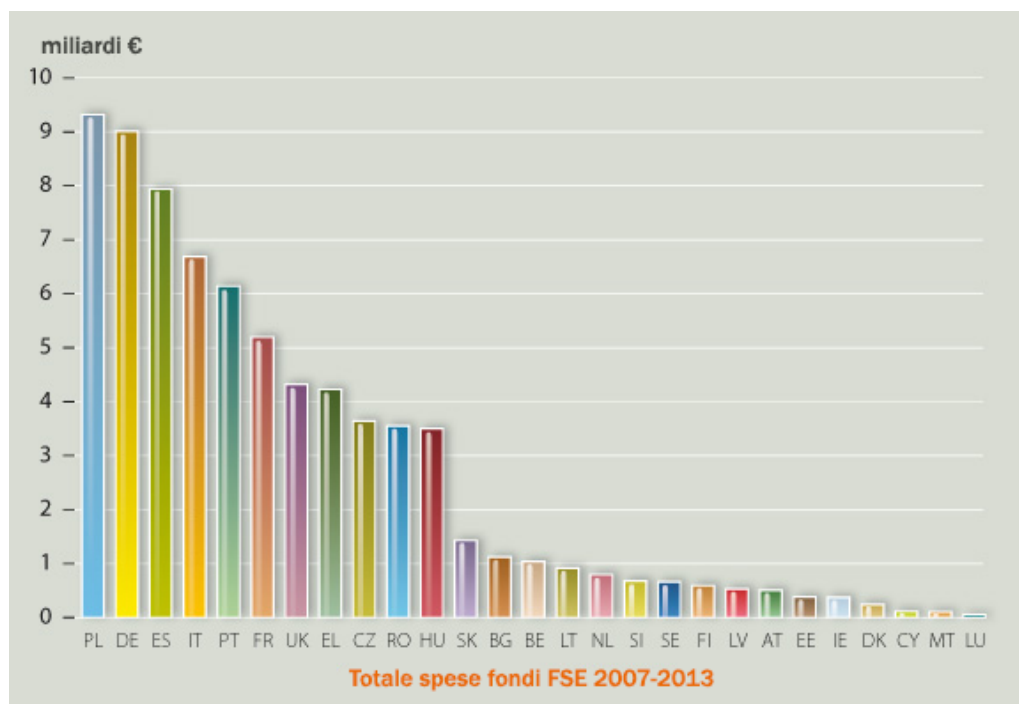


Fig. 2 Utilizzo dei fondi sociali europei per ogni paese dell'Unione Europea

Nel periodo 2007-2013, sono stati spesi 75 miliardi di Euro per il fondo FSE, il cui slogan era “Investire nelle persone”. Le sei aree di priorità sono:

- Miglioramento del capitale umano
- Miglioramento dell'accesso all'impiego e sostenibilità
- Aumento dell'adattabilità dei lavoratori e delle aziende
- Aumento dell'inclusione sociale per persone svantaggiate
- Rinforzo delle capacità istituzionali a livello nazionale, regionale e locale
- Mobilitazione per riforme nel campo dell'impiego e dell'inclusione

La quota di fondi FSE ricevuti da ogni nazione varia in base alla popolazione e in base alla prosperità del Paese. La distribuzione nelle aree è invece a discrezione di ogni singolo Stato.

Il Fondo di Coesione (FC) contribuisce all'intervento nell'ambito delle reti di trasporti trans-europee (Trans-European Transport Networks, o TEN-T). Le reti TEN-T sono parte della rete trans-europea (Trans-European Networks,

TENs), la quale include una rete di telecomunicazioni e una rete di distribuzione di energia.

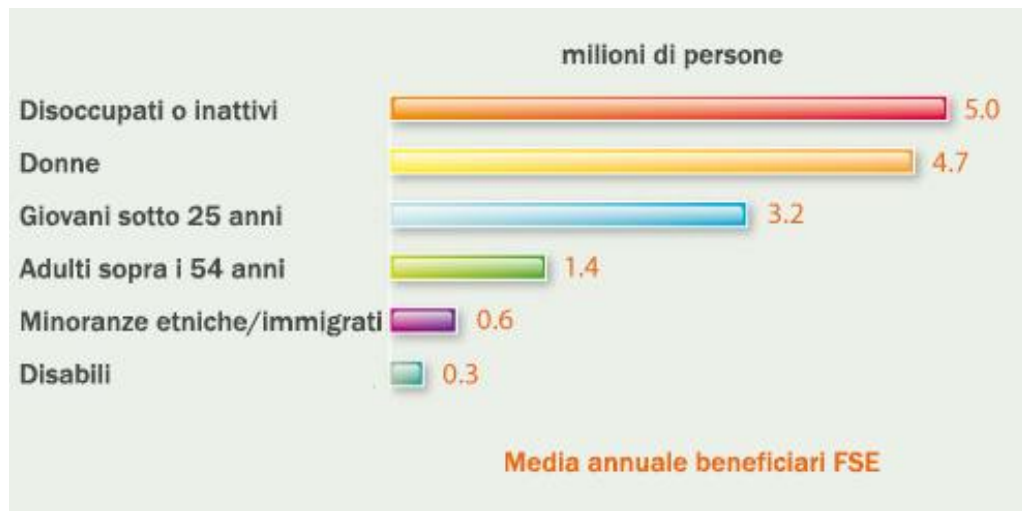


Fig. 3 Numero dei beneficiari dei fondi sociali europei, divisi per categoria

La TEN-T prevede miglioramenti per le autostrade, ferrovie, trasporti marittimi interni, aeroporti, porti e sistemi di gestione del traffico, realizzando così delle tratte ad alta velocità a lunga percorrenza, intermodali e integrate.

I Fondi di Coesione si applicano agli Stati con Reddito Nazionale Lordo minore del 90% della media-EU, ovvero i 12 nuovi membri dell'Unione, più la Spagna, ora in fase di transizione. [2]

Il Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) è il fondo destinato a finanziare le azioni del Programma di Sviluppo Rurale. Il budget del FEASR, stimato in circa 100 milioni di euro nel ciclo 2007-2013, viene usato per raggiungere diversi scopi, tra cui il miglioramento della competitività delle campagne, delle foreste e del settore dell'agriturismo, il miglioramento dell'ambiente naturale, lo sviluppo delle economie rurali e il miglioramento dell'assistenza alla qualità della vita nelle aree rurali.

Il Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP) sostiene l'industria peschereccia e le comunità costiere, per aiutarle ad adattarsi ai cambiamenti delle condizioni del settore e diventare così attività sostenibili.

I fondi sono disponibili per tutti i settori dell'industria, pesca in mare e in acque dolci, acquaculture, produzione e vendita di prodotti ittici, in particolare

per le comunità pescherecce maggiormente colpite dai cambiamenti attuali nell'industria.

I progetti, realizzati dalle varie autorità nazionali, servono a realizzare i seguenti obiettivi prioritari: l'aggiustamento e l'ammodernamento delle flotte, includendo la demolizione dei vecchi pescherecci; l'acquacoltura, dalla produzione fino alla vendita, includendo la pesca in acque dolci; miglioramento della tracciabilità e la classificazione; sviluppo sostenibile delle aree ittiche; assistenza tecnica per finanziare l'amministrazione dei fondi. [3]

Di questi fondi, la Regione Emilia-Romagna può beneficiare solo dei Fondi FESR e FSE.

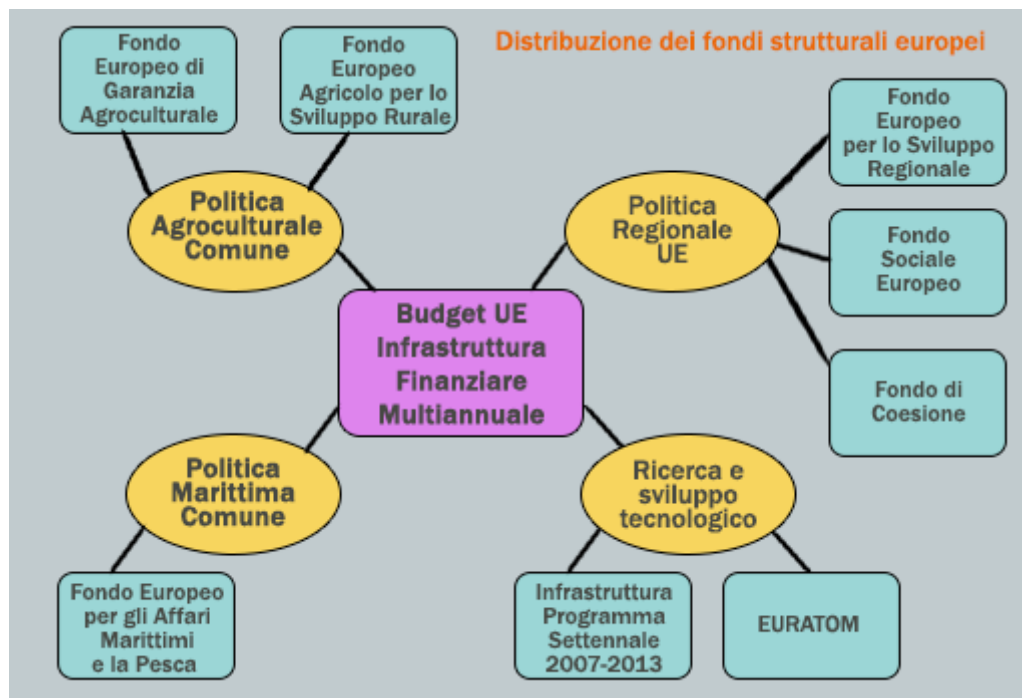


Fig.4 Struttura della ripartizione dei fondi europei nei vari capitoli di spesa

## 1.2 Programma Operativo Regionale

A livello delle singole regioni i fondi strutturali vengono espressi tramite dei programmi di pianificazione territoriale.

Il Programma Operativo Regionale del Fondo sociale Europeo 2007-2013 (POR FSE) rappresenta il documento strategico di pianificazione del FSE, che punta a sostenere l'occupazione, aiutare i cittadini a trovare posti di lavoro migliori e assicurare opportunità lavorative più eque per tutti.

Il Programma Operativo Regionale del Fondo europeo di sviluppo regionale 2007-2013 (POR FESR) è il documento strategico di pianificazione del FESR, il quale punta a consolidare la coesione economica e sociale del proprio territorio, finanziando aiuti diretti per gli investimenti nelle imprese, nelle infrastrutture correlate ai settori della ricerca e dell'innovazione, delle telecomunicazioni, dell'ambiente, dell'energia e dei trasporti, e finanziando strumenti finanziari e misure di assistenza tecnica.

L'impianto strategico per il Programma Operativo FESR 2014-2020 fa perno sulla Strategia di Specializzazione Intelligente (S-3) della Regione Emilia-Romagna, mettendo al primo posto la ricerca e l'innovazione, in modo da collegare le imprese e il sistema produttivo regionale con il capitale umano e l'ampio sistema della conoscenza.

Per la Regione Emilia-Romagna e per il Programma Operativo FESR in particolare, questo significa poter intraprendere un percorso di crescita degli investimenti produttivi in grado di incorporare innovazione, rafforzare la base produttiva delle filiere regionali, favorire percorsi di aggregazione, capitalizzazione e sviluppo delle imprese, e accrescere il livello di internazionalizzazione del sistema produttivo.

Altri punti chiave sono il rafforzamento della presenza sul mercato delle imprese introducendo servizi, utilizzando tecnologie dell'informazione e della comunicazione, favorendo la costruzione di reti stabili di produzione e co-progettazione; diffondere le attività di Ricerca e Sviluppo ed innovazione sia da parte della Rete Alta Tecnologia che delle imprese; sostenere la dinamica imprenditoriale della Regione sia nell'ambito degli spin-off tecnologici che delle start up, sostenendo i percorsi di crescita e rafforzamento delle nuove imprese innovative, l'accreditamento degli incubatori.[4]

Per quanto riguarda il posizionamento lavorativo, si intende accrescere l'occupazione e le competenze per dare corpo ad un sistema diffuso dell'innovazione, in linea con la Strategia di specializzazione intelligente; mentre in merito alle reti, il Programma prevede l'accrescimento del capitale, partendo da quelle tecnologiche, diffondendo la banda ultra-larga, a quelle del credito, con un sistema diffuso di garanzie, e territoriali di produzione integrate

con incubatori e dimostratori. Infine, per quanto riguarda l'aspetto ambientale, si mira alla riduzione dei consumi energetici e ad un minore l'impatto ambientale perseguendo gli obiettivi della low carbon economy e la strategia Europa 20-20-20;

Nel quadro strategico complessivo per la Regione rientrano anche i temi della sicurezza del territorio e degli investimenti in infrastrutture di trasporto.

Il POR intende focalizzare la sua strategia su sei assi prioritari (a cui va aggiunta l'assistenza tecnica), che riprendono gli obiettivi tematici previsti dal Regolamento (UE) n. 1303/2013 finalizzati ad attuare la Strategia Europa 20-20-20; le risorse complessivamente destinate per l'attuazione del Programma ammontano a 481.895.272:

- Ricerca e innovazione → 30% (con riferimento all'Obiettivo tematico 1)
- Sviluppo dell'ICT e attuazione dell'Agenda Digitale → 5% (con riferimento all'Obiettivo tematico 2)
- Competitività ed attrattività del sistema produttivo → 25% (con riferimento all'Obiettivo tematico 3)
- Promozione della low carbon economy nei territori e nel sistema produttivo → 20% (con riferimento all'Obiettivo tematico 4)
- Valorizzazione delle risorse artistiche, culturali ed ambientali → 10% (con riferimento all'Obiettivo tematico 6)
- Città intelligenti, sostenibili ed attrattive → 6% (in attuazione dell'Agenda Urbana e con riferimento agli Obiettivi tematici 2, 4, 6)
- Assistenza tecnica → 4%

In riferimento agli assi prioritari previsti in agenda per Il Programma Operativo FESR, gli obiettivi che si intende perseguire sono i seguenti:

- Creare un piano di sviluppo universale e consistente, che venga ad identificare e a definire: la visione, gli obiettivi strategici, le aree di intervento prioritarie, le misure e i progetti di sviluppo pronti per l'attuazione;
- Rafforzare il partenariato, le misure e i progetti della cittadinanza nello sviluppo regionale e locale;

- Rafforzare le capacità di gestione dello sviluppo regionale (identificazione, pianificazione, valutazione dei progetti di sviluppo e finanziamento) a livello regionale e locale. [5]

Questi obiettivi globali si articolano in diversi obiettivi specifici di fondamentale importanza per l'economia e la società regionale, che presentano elevati livelli di sviluppo e di industrializzazione, un buon posizionamento competitivo e una buona strutturazione di servizi a supporto dello sviluppo. Il Programma Operativo Regionale ha dunque l'obiettivo di collocare l'Emilia-Romagna nel contesto delle regioni europee di eccellenza.

Di regola, il POR è costituito dalle seguenti parti e fasi:

- Analisi di base (analisi della situazione, problemi ed esigenze di sviluppo);
- Analisi SWOT (punti forti, punti deboli, minacce, occasioni);
- Visione (cosa desidera e cosa può essere la regione in futuro);
- Obiettivi strategici (obiettivi di sviluppo tra 5 e più anni);
- Priorità (aree prioritarie d'intervento);
- Misure (insieme di interventi per realizzare le priorità);
- Progetti (progetti di sviluppo concreti);
- Piano d'attuazione (istituzioni e procedure d'attuazione).

Ogni 7 anni quindi, la Regione Emilia-Romagna concorda con lo Stato e con la Commissione Europea un Programma Operativo a cui destinare i finanziamenti del FSE e del FESR ad essa assegnati; dopo l'approvazione del POR, la Regione, tramite appositi bandi, valuta e finanzia progetti coerenti con la strategia individuata. Nell'ultimo ciclo è stata beneficiaria del fondo FESR e del fondo FES per circa 420 milioni di Euro. [6]

Attualmente la Regione è impegnata nella nuova programmazione per il periodo 2014-2020. Tale programmazione viene realizzata coinvolgendo gli organismi di partenariato, collaborazione istituzionale e concertazione che operano sul territorio regionale. L'attuazione di una Strategia di Specializzazione Intelligente (Smart Specialisation Strategy - S3) sembra essere il metodo migliore per l'attuazione dei Programmi Operativi e quale

elemento di integrazione delle politiche di sviluppo per la competitività dei sistemi produttivi e dei territori.

### *1.3 Analisi di contesto, il clima e la produzione di Co2*

Attualmente, la Regione Emilia-Romagna si presenta con un alto livello di prosperità, che la pone nell'ambito delle regioni più ricche dell'Unione Europea. Questo grazie ad un forte sviluppo economico, principalmente di matrice industriale, insieme ad un alto tasso di competitività e produttività.

Dal punto di vista del posizionamento competitivo, il sistema produttivo regionale sembra caratterizzato da una buona tenuta, con un valore dell'export che ritorna nel 2013 sui livelli del 2008, posizionando la Regione Emilia-Romagna in terza posizione in Italia per esportazioni complessive e prima per export pro-capite. D'altra parte, la Regione Emilia Romagna con le sue 420.000 imprese di cui oltre 46.000 manifatturiere e la sua elevata specializzazione produttiva mantiene una solida posizione nelle filiere produttive quali l'agroalimentare, la meccanica-automotive-macchine industriali, la ceramica e materiali per l'edilizia, cui si affiancano settori emergenti come salute e benessere, nuove industrie nel settore della cultura, creatività, turismo e servizi in generale.

Dal punto di vista produttivo, la Regione si presenta con una struttura formata da molte imprese medie e piccole, fortemente integrate tra loro grazie ai sistemi di connessione tecnologiche e di mercato.

La contrazione dei margini delle imprese, le politiche di riduzione del credito e la discontinuità della politica industriale nazionale hanno determinato una diffusa tendenza alla riduzione del potenziale produttivo e una conseguente contrazione e precarizzazione del livello occupazionale, con un tasso di disoccupazione che ha superato l'8% a fine 2013. Le stime attestano che la dinamica dell'occupazione rimarrebbe negativa fino al 2015, per poi tornare a crescere nel quinquennio successivo. Complessivamente il ritmo di crescita



dell'occupazione nel decennio 2011-2020 rimarrebbe piuttosto contenuto (+0,4% in media d'anno).

Per quanto concerne il settore industriale, esso è trainato maggiormente dall'impresa manifatturiera, che rappresenta quasi un terzo dell'intero settore in termini di occupazione; l'intero sistema produttivo appare formato da un numero molto elevato di imprese medie e piccole, riunite però sotto una rete di grandi filiere, le quali riescono ad unire aziende ed imprese diverse, seppur complementari. In generale, la componente che si è sviluppata maggiormente negli ultimi anni è quella dei servizi avanzati, quali informatici e di tipo professionale, unita a quella high-tech e medium-tech, rappresentata dagli ambiti biotecnologici e nanotecnologici. Nella scelta delle priorità strategiche relative a questo settore, sono stati seguiti due percorsi: un percorso di tipo verticale, volto cioè ad individuare i sistemi industriali regionali a maggiore impatto per la competitività e lo sviluppo regionale; un percorso di tipo orizzontale, rivolto a cogliere driver e fattori di innovazione e di cambiamento, trasversale a tutto il sistema produttivo.

Parlando di Società dell'informazione, nella Regione vi è un buon tasso di copertura della banda larga, tasso destinato a salire grazie al Piano Telematico Regionale, con obiettivo la disponibilità totale di accesso a Internet con connessione a banda larga.

Anche nelle aziende vi è una buona diffusione degli strumenti offerti dalla rete. Il tasso delle vendite online è in aumento negli ultimi anni, così come il numero di servizi fruibili direttamente tramite Internet. Sebbene tali componenti siano maggiormente sviluppate nelle aziende a maggior fattore tecnologico, esse stanno portando in generale a un miglioramento della qualità dei prodotti offerti, grazie a una rete di cooperazione online.

Per quanto riguarda gli indicatori relativi alla ricerca, alla tecnologia ed all'innovazione l'Emilia-Romagna si posiziona bene nel contesto italiano ed anche, per alcuni aspetti, nel confronto con le regioni francesi e spagnole, ma rimane distante dalle regioni tedesche, che rappresentano un target ancora lontano. Le spese in ricerca e sviluppo delle imprese, espresse come quota sul PIL, in Emilia-Romagna raggiungono lo 0,9%. Anche il numero di domande di

brevetto per abitante in Emilia-Romagna è relativamente elevato rispetto alle altre regioni italiane.

Per quanto riguarda il settore energetico, la Regione è in grado di fornire circa un terzo del fabbisogno interno di energia, quasi esclusivamente grazie allo sfruttamento del gas naturale. I consumi infatti, sono molto elevati e pochissimi sono gli impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili, principalmente idroelettrica e derivante da biomasse.

Allo scopo di migliorare tali numeri, la Regione Emilia-Romagna ha posto particolare enfasi sul tema delle riserve energetiche rinnovabili nel Piano Energetico Regionale soffermandosi su risparmio energetico, introduzione di fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni inquinanti nell'ambiente. [7]

Oltre alla mancanza di impianti che sfruttano fonti rinnovabili, altri fattori incidono sulla forte concentrazione di anidride carbonica e altri gas serra nell'atmosfera della Regione. Il problema principale, e sicuramente non risolvibile, è la conformazione naturale del territorio: essendo questo a forma di conca ed esposto alle correnti d'aria provenienti da ogni direzione, i gas provenienti dalle regioni circostanti vi si depositano sopra, accumulandosi. D'altra parte, la massiccia presenza di impianti industriali e la fitta rete di trasporti sul territorio comportano la produzione di una notevole quantità di anidride carbonica, circa 47 milioni di tCo<sub>2</sub> equivalente. [8] Come conseguenza di tale fenomeno, si prospetta una diminuzione delle precipitazioni e una maggior durata delle ondate di calore.

La Regione Emilia-Romagna non ha ancora predisposto strumenti di pianificazione trasversale, ma le politiche in questo senso sono già in via di sviluppo nell'ambito di numerosi strumenti di pianificazione specifici: tra di essi, il Piano Energetico Regionale (PER) e il già sopra nominato POR. Da questi due strumenti di pianificazione nascono una serie di modelli ed applicativi per ridurre la produzioni di gas serra, e più in generale per la gestione dei fondi Strutturali dell'Unione Europea.

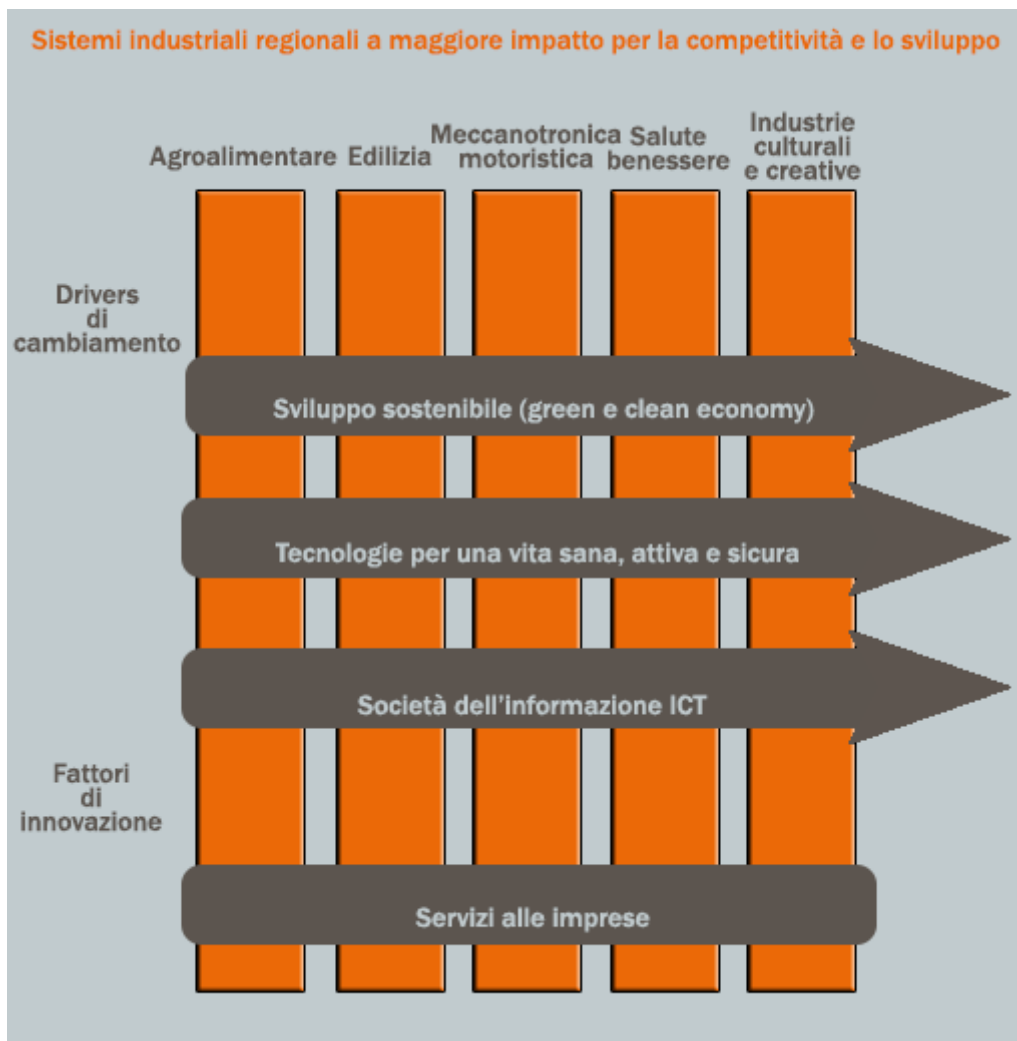


Fig. 5 Lista dei sistemi industriali di maggior impatto della regione e dei fattori di cambiamento

#### 1.4 Dai sistemi informativi agli strumenti di supporto alle decisioni

I primi sistemi informativi computerizzati, introdotti a partire dagli anni '50, furono i Transaction Processing Systems (TPS): essi avevano lo scopo di gestire alcune attività aziendali di basso livello, come la fatturazione e la gestione degli stipendi. I TPS migliorarono notevolmente le attività e le prestazioni degli impiegati; ciò fu possibile grazie alla possibilità di accumulare grosse quantità di dati in tempi ragionevoli e a costi notevolmente ridotti.

Una volta collaudati i TPS, grazie anche alle maggiori capacità computazionali dei calcolatori ed allo sviluppo delle tecnologie informatiche, si ebbe la creazione dei Management Information Systems (MIS), sistemi informativi più evoluti che permettevano di supportare anche il lavoro dei livelli più alti dell'organizzazione aziendale.

Nello specifico, lo scopo dei MIS era di produrre periodicamente dei report, per quanto predefiniti e standardizzati, report che contenevano informazioni recuperate tramite l'analisi di dati contenuti nei report TPS (Test Procedure Specification).

Tuttavia la natura dei report TPS, molto lunghi e specifici, comporta dei problemi nella creazione dei report MIS. Difatti o le informazioni che sono realmente utili ai manager per le loro decisioni su attività di pianificazione e controllo sono un numero molto limitato rispetto alla mole di informazioni contenute nella documentazione, oppure alcune informazioni essenziali non sono invece contenute in tali fogli.

Per risolvere tali problemi, lo sviluppo dei sistemi informativi virò verso un approccio completamente diverso: invece di stabilire quali e quanti tipi di informazioni dovessero essere presenti nei report TPS per fornire supporto ai manager, si pensò di realizzare degli strumenti che durante il processo decisionale potessero usare al meglio le informazioni già presenti. Era importante infatti, fornire un accesso veloce e mirato alla base di dati aziendale e dare la possibilità di eseguire elaborazioni analitiche sui dati secondo criteri non fissati a priori (in problemi di decisione quindi semi-strutturati o non strutturati), in quanto ci si rese conto che supportare le attività manageriali significa fare uso di dati che riguardano l'azienda nel suo complesso e che derivano spesso dall'aggregazione di dati specifici.

Da ciò sorse l'esigenza di creare un nuovo database, separato da quello aziendale e destinato agli usi specifici del supporto alle decisioni a partire dai dati precedenti. Questo nuovo database, chiamato data warehouse, conteneva quindi i dati del database aziendale, ma già aggregati secondo determinati criteri.

Ovviamente servivano anche degli strumenti software che permettessero di elaborare le informazioni aggregate contenute nei nuovi database, in maniera da supportare diversi modelli e stili decisionali.

Nacquero così i Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) e i Sistemi Esperti (ES), dalla cui integrazione sono risultati i Knowledge-based DSS (KDSS). I KDSS sono in grado di elaborare dati attraverso modelli matematici, compito tipico dei DSS, e trasformare tali risultati in opinioni, valutazioni e consigli.

Un Sistema di supporto alle decisioni, quindi, è un sistema informativo evoluto che supporta le attività decisionali di business e organizzative, aiutando i piani strategici e operativi di una organizzazione a prendere delle decisioni su problemi che possono variare rapidamente e non sono prevedibili in anticipo.

Dal momento che molti utenti considerano i DSS uno strumento per facilitare i processi organizzativi, in generale la definizione di DSS si è estesa a tutti i sistemi che supportano un processo decisionale e i sistemi basati su conoscenza (knowledge-based systems). [9]

Un buon DSS è un sistema software-based interattivo che intende aiutare coloro i quali devono prendere le decisioni, compilando informazioni utili da una combinazione di dati grezzi, documenti, modelli di business e anche conoscenza personale. Tali informazioni sono contenute in inventari di informazioni sulle attività (tra cui i già citati data warehouse).

I componenti principali di un DSS sono:

- DATA MANAGEMENT SUBSYSTEM: include il data warehouse che contiene i dati rilevanti per le decisioni e il software per la gestione di quest'ultimo.
- MODEL MANAGEMENT SUBSYSTEM: è un pacchetto software che contiene i modelli e il software per gestirli. Rappresenta il cuore analitico del sistema. I modelli permettono di descrivere anche problemi complessi. Oltre alla costruzione dei modelli, devono essere messi a disposizione dell'utente strumenti per testare un modello e per effettuare simulazioni, oltre ad una visione chiara e comprensibile dei dati.

- DIALOG MANAGEMENT SUBSYSTEM: è il sottosistema che gestisce la comunicazione tra utente e sistema. Deve garantire la semplicità d'uso del sistema attraverso menu e comandi intuitivi.
- Gli OLAP (On-line Analytical Processing) sono sistemi software che permettono al decisore di analizzare i dati in tempo reale; da differenti punti di vista (analisi multidimensionali); a diversi livelli di aggregazione: operazioni di aggregazione (roll up) e di disaggregazione (drill down).

Un team di autori, fra cui dei ricercatori della Divisione ISC (Impatti sul Suolo e sulle Coste), ha realizzato una rassegna per illustrare ed esaminare le principali caratteristiche degli strumenti di supporto alle decisioni attualmente disponibili per la valutazione e la gestione degli impatti dei cambiamenti climatici. Gli autori hanno analizzato e classificato venti DSS fra quelli disponibili per valutazione e gestione degli impatti dei cambiamenti climatici. Lo studio mette in evidenza le caratteristiche e i possibili campi di applicazione di ciascun DSS, per guidare l'utente nella scelta dello strumento più appropriato ai propri scopi. Lo studio ha evidenziato la necessità di sviluppare strumenti di assessment e gestione degli impatti dei cambiamenti climatici su scala regionale, per aiutare le comunità a mettere a punto adeguate strategie di adattamento: gli effetti dei cambiamenti climatici, le caratteristiche climatiche e le condizioni socio-economiche, dipendono infatti fortemente dalle caratteristiche geografiche di una regione; inoltre si è presentata la necessità di adottare sempre più in futuro un "approccio eco sistemico", in grado di considerare le complesse dinamiche e le interazioni tra i sistemi ambientali, nonché l'esigenza di un approccio multi-rischio, per considerare le interazioni fra i diversi impatti dei cambiamenti climatici che interessano una determinata regione.

Per concludere, lo studio ha soprattutto portato alla luce la necessità di coinvolgere gli utenti finali e i diversi portatori d'interesse fin dai primi passi del processo di sviluppo di questi strumenti. Per creare un servizio climatico utile, in grado di soddisfare le reali esigenze degli utenti, e per evitare la

frustrante condizione di avere sprecato tempo e risorse per creare DSS il cui utilizzo non vada oltre il mero test scientifico.

### *1.5 Stato dell'arte: Co2mpare ed e-Policy*

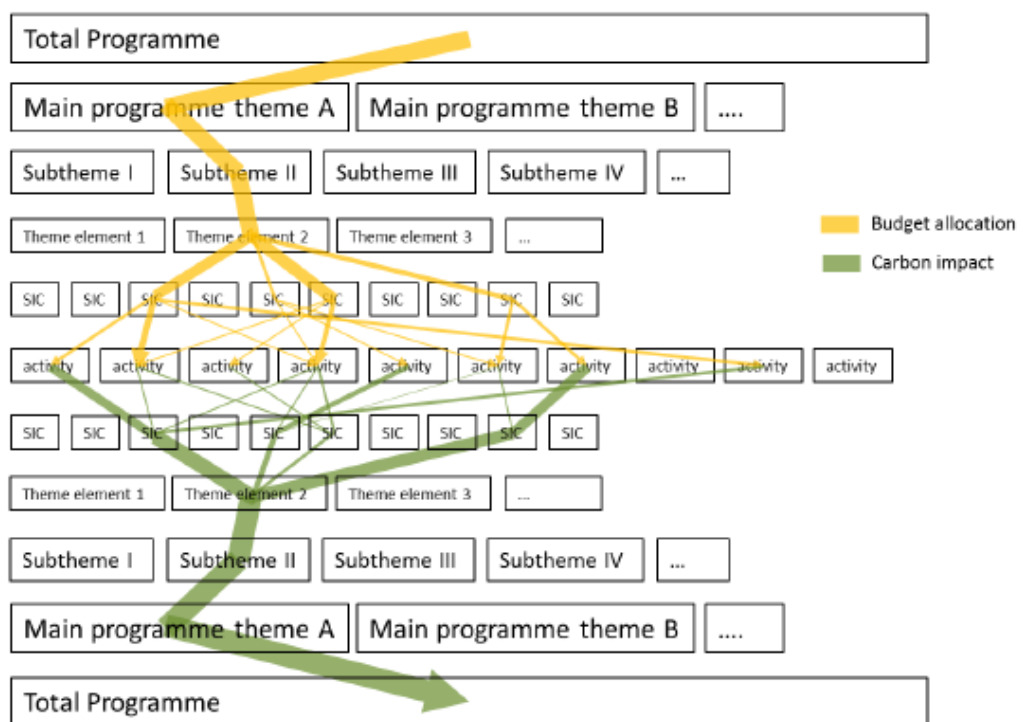
#### *1.5.1 Co2mpare*

Richiesto dalla commissione Europea e sviluppato in collaborazione con cinque regioni europee: Puglia (Italia), Emilia Romagna (Italia), Repubblica Ceca, Creta (Grecia), e Zuid Holland (Olanda), Co2mpare è uno strumento di aiuto per la realizzazione di policy a livello regionale e nazionale, in grado di supportare le autorità competenti nel prendere decisioni bilanciate per il loro portafoglio di investimenti nell'ambito dei programmi di sviluppo. In particolare, le decisioni da prendere riguardano obiettivi climatici: difatti l'Unione Europea sta rimodernando la sua politica richiedendo che gli investimenti sparsi nelle regioni siano indirizzati verso uno sviluppo a bassa emissione di anidride carbonica, nello specifico una riduzione della produzione di gas serra (i GHG) del 20% entro il 2020; pertanto occorre che l'impatto degli investimenti sulla produzione di anidride carbonica sia calcolato attentamente durante lo sviluppo dei programmi regionali.

Il modello Co2mpare informa le autorità regionali e nazionale sugli impatti che gli investimenti nei Programmi Operativi possono avere in termini di emissione di anidride carbonica. Sapere quali investimenti portano ad alte emissioni o alla loro riduzione e in generale l'impatto totale del Programma, rappresenta il primo passo verso le decisioni sugli investimenti che hanno benefici a livello ambientale. Più nello specifico, il modello di Co2mpare calcola l'impatto sulla produzione di anidride carbonica complessiva di tutte le singole attività di un Programma Operativo, indicando per ogni sezione la sua componente. Questa visione d'insieme permette di bilanciare alcuni settori più importanti (e magari dannosi dal punto di vista ambientale) con altri che invece permettono la riduzione di produzione di gas serra, creando una visione di investimento maggiormente legata ad un intero scenario piuttosto che al singolo progetto. Nel fare ciò, contribuisce a creare una sensibilità verso il tema ambiente,

sensibilità che se assecondata, potrebbe portare al cambiamento delle politiche dei Programmi Operativi Regionali. [10]

Il modello di Co2mpare usa gli input finanziari (che possono essere sia di natura pubblica, principalmente quelli erogati dall'Unione Europea e dalla Regione; sia provenienti da investimenti privati) per stimare gli output di anidride carbonica di un Programma Operativo. Ciò avviene dividendo il budget di un Programma Operativo nelle attività singole che vengono realizzate con i fondi previsti, quindi, il budget viene diviso progressivamente in sezioni e sottosezioni, a ognuno dei quali viene assegnato un SIC



(Standardized Investment Component).

Fig.6 Il programma viene ripartito fino alle singole attività, tramite i SIC vengono calcolati i singoli impatti di Co2 e quindi risommati per avere un output totale.

Il database presenta indicatori fisici ed economici specifici per regione (costo di costruzione di una strada o di un palazzo, distribuzione dei fondi tra le varie aree per il progetto di un porto, ecc), permettendo di calcolare l'impatto di CO2 data una somma di denaro, divisa nei singoli SIC, in una determinata regione.

Le emissioni di anidride carbonica sono calcolate in tonnellate all'anno, e ne vengono evidenziate le diverse emissioni durante i vari periodi del ciclo vitale



di una attività. Il modello permette inoltre di verificare l'impatto di CO2 tramite una scala relativa, i cui valori vanno da -100 a 100. Un valore di 100 indica che tutte le attività del Programma sono attività che emettono anidride carbonica; un valore di -100 indica che nel Programma vi sono solo attività mirate a ridurre l'emissione di CO2; un valore 0 indica che il Programma è neutrale.

Vi è inoltre la possibilità di distinguere le emissioni in emissioni dirette ed indirette. Sono definite emissioni dirette quelle che avvengono immediatamente sul luogo del progetto o dell'attività, indirette quelle relative a produzione dei materiali, consumo elettrico, o aumento del traffico a causa dei lavori, e sono la tipologia sulla quale si ha meno controllo.

Inoltre, il modello permette all'utente di definire e comparare diversi scenari, che rappresentano diverse allocazioni di fondi per il Programma Operativo. Tale rappresentazione dei dati permette di vedere chiaramente come diverse allocazioni conducano a differenti emissioni di anidride carbonica. Lo strumento di comparazione può essere usato su macro livelli, per verificare le modifiche sul "main theme" o ad un livello più raffinato, in modo da gestire l'allocazione dei fondi anche sui singoli SIC.

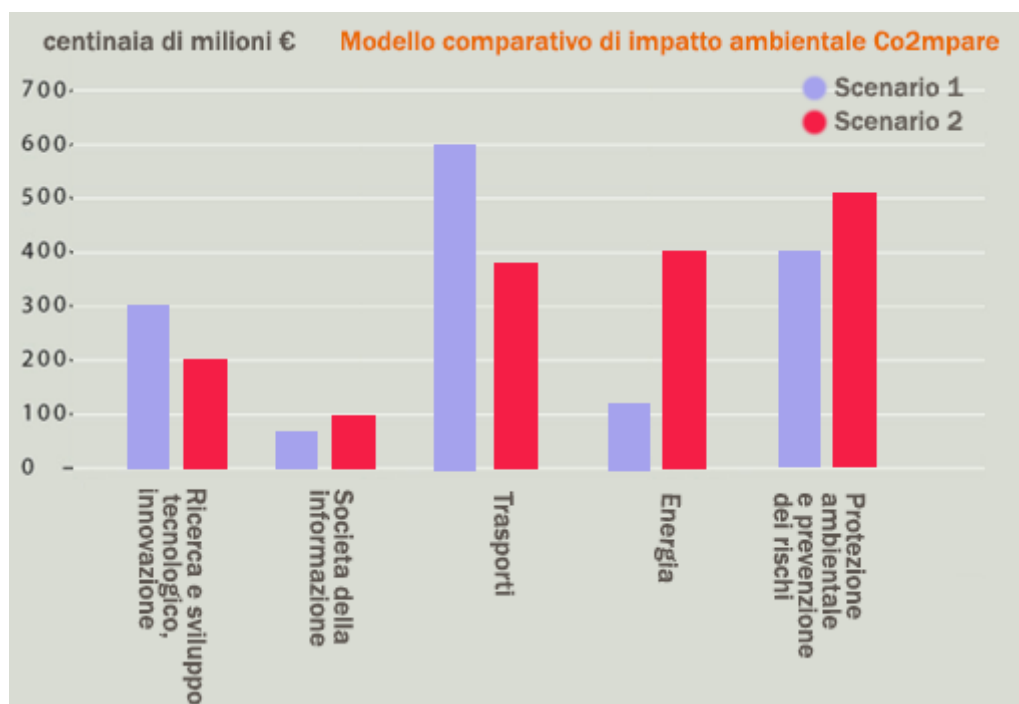


Fig. 7 Modello comparativo di Co2mpare di due diversi scenari

Tuttavia, la limitazione di questo strumento risiede nel fatto che l'unico parametro utilizzato per aiutare nella scelta dell'allocazione dei fondi è l'emissione di anidride carbonica, che per quanto sia un tema importante sul quale l'Unione Europea sta puntando, non è sicuramente l'unico. Da ciò ne consegue che si ha solo una visione parziale del problema della destinazione dei fondi strutturali e che serve uno strumento con una portata più ampia per poter decidere al meglio.

### *1.5.2 Il progetto e-Policy*

e-Policy è un progetto finanziato dall'Unione Europea e realizzato dall'Università di Bologna, in collaborazione con l'Università di Ferrara, di Surrey e con la partecipazione, tra le altre, della Regione Emilia-Romagna. Lo scopo del progetto è dotare i politici di tecniche di ottimizzazione, visualizzazione e simulazione e modelli integrati, oltre che informarli sulle opinioni dei cittadini rispetto a tematiche che impattano la vita di tutti i giorni, allo scopo di migliorare i risultati del processo decisionale e a valutarne le ricadute. Tramite un lavoro multidisciplinare, e-Policy mira a ingegnerizzare il ciclo di scelte per la classe politica e ad offrire agli utenti (i politici come i cittadini) degli strumenti di visualizzazione che rendano facilmente accessibili dati, impatti e scelte politiche.

Questo approccio può essere esteso anche ad altri settori decisionali, ma perché sia davvero efficace è necessario rilevare la visione individuale di tanti soggetti (singoli cittadini, associazioni, aziende) e unire i dati per offrire risultati leggibili sia da parte dei politici che dei cittadini. Per fare questo non sono sufficienti i classici sistemi di supporto alle decisioni, ma servono anche degli ambienti di simulazione sociale in grado di estrarre le opinioni dei cittadini su determinate tematiche politiche, a partire da twitter, facebook e in generale i social network, la stampa on line e i siti di aziende e associazioni che si occupano di alcune tematiche.

Il ciclo decisionale integra nel processo decisionale sia la prospettiva globale - che può essere la ripartizione del capitale, dei vincoli legislativi, ecc. - sia una

prospettiva individuale data dalle singole persone, che attraverso la rete potranno far valere le loro opinioni, dubbi e preoccupazioni riguardo le questioni politiche.

Questi due aspetti vengono messi in comune grazie a diversi livelli di tecnologie: uno di supporto alle decisioni per la prospettiva globale, una di simulazione agent-based per la prospettiva individuale e un nuovo approccio alla teoria dei giochi per regolare le interazioni tra le precedenti.

Le opinioni dei cittadini riguardo le valutazioni ex-ante del livello globale vengono collezionate tramite un lavoro di opinion mining, basato su strumenti di partecipazione in rete, sull'utilizzo dei social network e siti di semantic web; quindi dopo che gli strumenti di ottimizzazione hanno creato dei piani alternativi ai precedenti, i cittadini, e in generale gli stakeholder, possono nuovamente esprimere la loro opinione. Infine, delle tecniche di visualizzazione accessibili anche a dei non esperti del settore informatico mostreranno tali processi ai politici, per prendere le loro decisioni, e ai cittadini per aiutarli ad informarsi su tali scelte. [11]

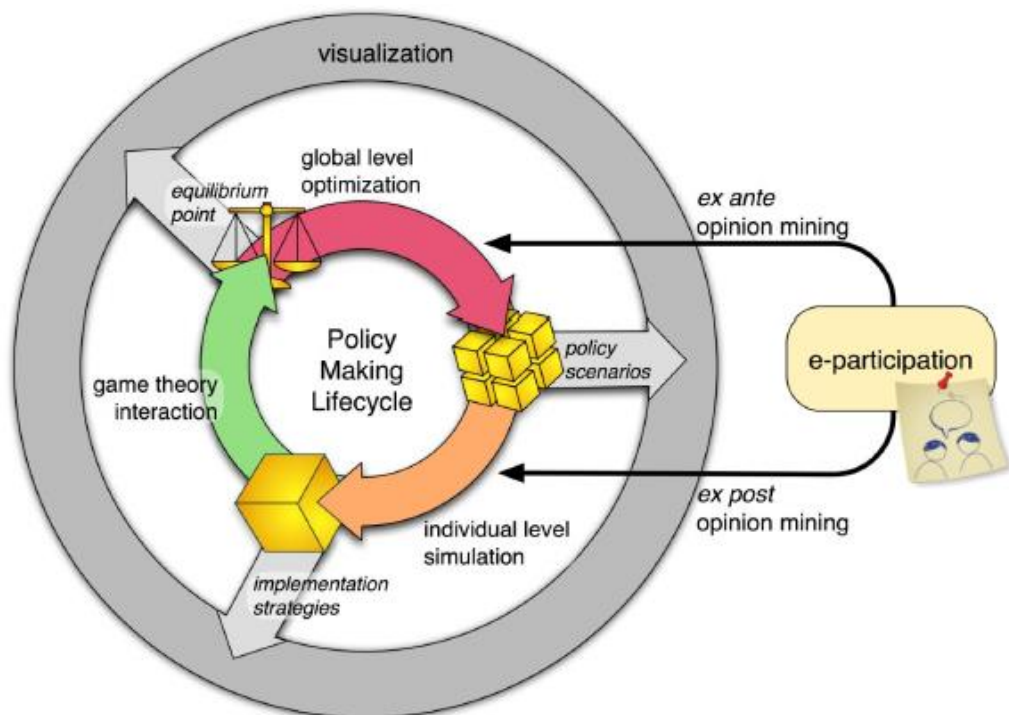


Fig. 8 Struttura del modello e-Policy

La prova sul campo del modello realizzato da e-Policy è stato un sistema open source realizzato specificatamente per un Programma Regionale, in particolare per la realizzazione del Piano Energetico Regionale. Tale progetto ha tenuto molto in considerazione le strategie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, in accordo con le direttive dell'Unione Europea come la strategia Europa 2020, senza dimenticare però gli impatti sociali e i costi di implementazione del progetto.

E' proprio a partire da questo modello riuscito di pianificazione che l'Università di Bologna ha pensato di estendere il modello e di realizzare un sistema realizzato specificatamente per la costruzione del Programma Operativo Regionale per il prossimo ciclo settennale.

## **2. Realizzazione dello strumento per il POR**

### *2.1 La Programmazione Logica a Vincoli*

La programmazione a vincoli è un paradigma di programmazione dove le relazioni fra variabili possono essere dichiarate in forma di vincoli. I vincoli, diversamente dai normali linguaggi di programmazione non sono espressi tramite azioni singole da eseguire in sequenza, quanto tramite delle limitazioni alle proprietà che deve avere la soluzione. I vincoli usati possono essere principalmente di due tipi: quelli basati sul problema di soddisfacimento di vincoli (Constraint Satisfaction Problem o CSP) e quelli risolvibili mediante l'algoritmo del Simplex.

La programmazione a vincoli consiste nell'integrazione di vincoli all'interno di un linguaggio ospite, i primi dei quali furono linguaggi di tipo logico, tanto che queste applicazioni vennero inizialmente chiamate programmazione logica a vincoli. Questo paradigma ha come principali caratteristiche le variabili logiche ed il backtracking.

Il backtracking è una tecnica che enumera tutte le possibili soluzioni e scarta quelle che non soddisfano i vincoli. Una tecnica classica consiste nell'esplorazione di strutture ad albero e tenere traccia di tutti i nodi e i rami visitati in precedenza, in modo da poter tornare indietro al più vicino nodo che conteneva un cammino ancora inesplorato nel caso che la ricerca nel ramo attuale non abbia successo. I nodi a profondità uguale rappresentano i possibili valori di una variabile. Attualmente la maggior parte delle implementazioni di Prolog includono una o più librerie per supportare la programmazione logica a vincoli. L'approccio su cui si fonda la programmazione a vincoli è cercare uno "stato" del "mondo" in cui un grande numero di vincoli sono contemporaneamente soddisfatti. Da questo, risolvere un problema equivale a trovare un mondo possibile descritto da un numero di variabili. Il programma va alla ricerca dei valori che, attribuiti alle variabili, meglio definiscono il "mondo" soggetto ai vincoli imposti.

## *2.2 Il modello base del Global Optimizer*

Come visto precedentemente, la Regione Emilia-Romagna ha dei fondi di cui può disporre, seguendo alcune linee guida e priorità: ad esempio, per il settennio appena iniziato, le priorità sono la diminuzione della emissione di anidride carbonica e gas serra, l'investimento nella ricerca e la realizzazione di impianti di produzione energetica tramite fonti rinnovabili.

Date queste priorità, la Regione deve quindi scegliere quali Attività, o Opere, inserire nel suo Programma Operativo; l'uso della Programmazione Logica a Vincoli permette non solo la valutazione di diversi Piani, creati a mano da politici o amministratori, ma anche la creazione degli stessi, scegliendo quelli più adatti per il raggiungimento dei singoli obiettivi o di una combinazione degli stessi.

Nel modello base che terremo in considerazione, ogni Opera ha un costo e dei risultati ad essa collegati, in questo di due tipi: l'energia elettrica che produce (se ne produce) e l'emissione di anidride carbonica che essa comporta, entrambi i numeri indicano il valore dell'outcome per euro speso. Inoltre, ogni Opera è correlata a delle Pressioni, di tipo positivo e negativo: una Pressione positiva può essere la creazione di nuovi posti di lavoro o la riduzione di sostanze inquinanti nelle acque, mentre una Pressione negativa può essere l'inquinamento luminoso o il consumo del suolo.

A loro volta, le Pressioni hanno un peso su dei Recettori, ovvero degli indicatori ambientali, utili più per la valutazione che per la creazione dei piani. Tali Recettori sono la qualità dell'aria, del suolo, del mare, la disponibilità di acqua e di risorse elettriche e così via.

I fondi dell'Unione Europea sono divisi in capitoli di spesa, raggruppati tra loro tramite 11 Obiettivi Tematici, come ad esempio la ricerca, l'energia sostenibile, la tutela dell'ambiente, l'occupazione... Ogni capitolo di spesa, d'ora in poi definito Azione POR, viene smembrato nelle sue componenti, ovvero indica quale percentuale dei fondi per tale azione può essere destinato alle singole attività.

In figura 9 possiamo vedere uno schema riassuntivo del modello POR:

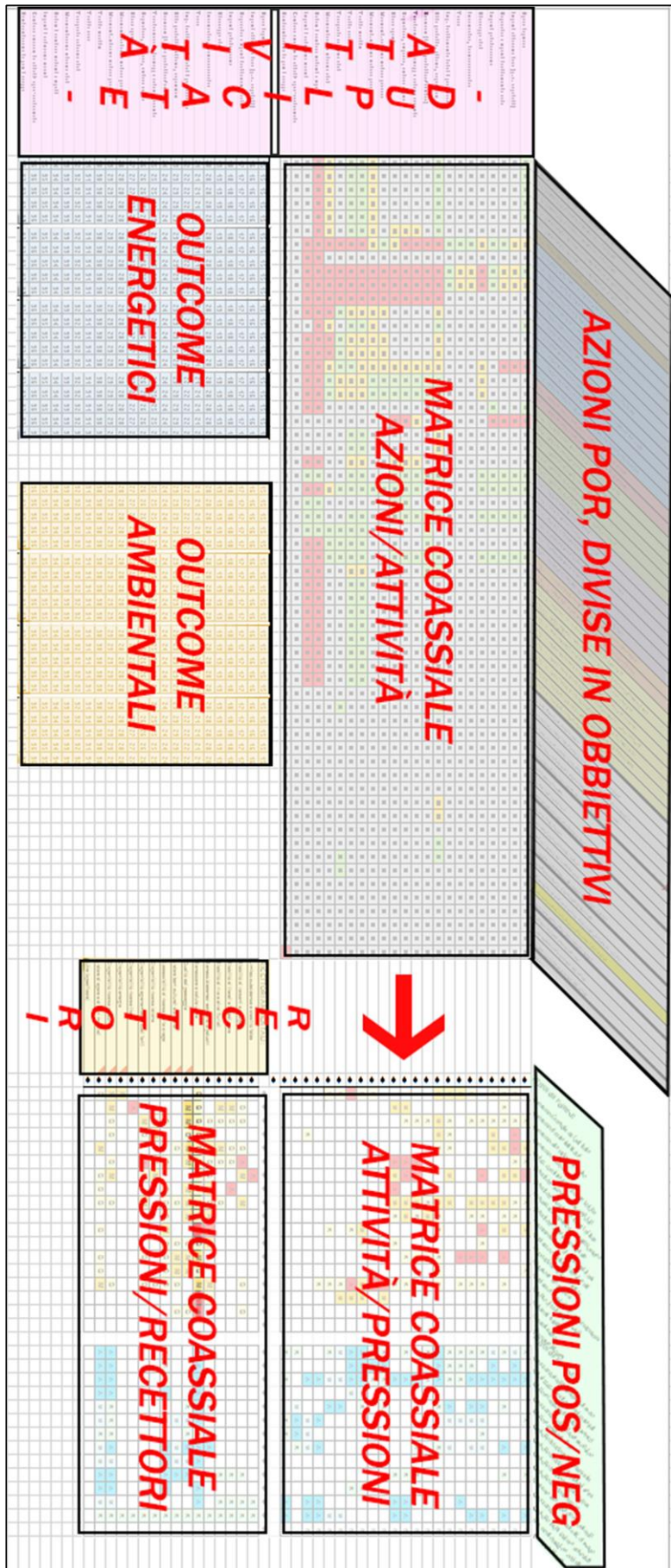


Fig. 9 Modello base del Global Optimizer

### 2.3 File e dati del modello

Il modello presenta 322 Azioni POR (302 standard, dettate dall'Accordo di Partenariato, 20 create dalla Regione Emilia-Romagna), caricate nel file *azioni.pl* con il predicato *azioni(Lista di Azioni)*.

Le Opere sono 115, salvate nel file *activity\_press.pl* con i predicati *opere\_press(Tipo, Denominazione, Lista di Impatti Opera/Pressioni)*, i quali, per ogni singola opera, danno la lista delle correlazioni Opera/Pressione. Allo stesso modo nel file *opera\_azioni.pl* sono presenti i predicati *opera\_azioni(Denominazione, Lista di Impatti Opera/Azioni)*, che descrivono le relazioni tra le singole Opere e le Azioni POR. I predicati saranno quindi tanti quante le Opere e la lunghezza delle liste pari al numero di Azioni POR.

Il file *activity\_settings.pl* contiene al suo interno il predicato *outcomes(Lista di outcome)*, che raccoglie la lista degli outcome energetici per unità di Opera. Analogamente, per gli outcome ambientali esiste il predicato *carbon(Lista di outcome anidride carbonica)*, che include la lista delle emissioni di anidride carbonica, espressa in tonnellate all'anno per Euro speso, salvata nel file *opere\_sic.pl*.

Il costo delle Opere invece è ritrovabile nel file *cost\_activities.pl*; per ogni Opera contiene un predicato *cost\_activity(Opera, Costo di gestione per Unità, Unità di misura per la Gestione, Costo di Investimento per Unità, Unità di misura per l'Investimento, Durata in anni)*. Molti di questi dati sono comunque non utilizzati ai fini dell'ottimizzatore, poiché a noi serve solo il costo di Investimento per Unità e la unità di misura dell'Opera.

Nel modello sono presenti 48 Pressioni, 29 positive e 19 negative; esse sono raccolte nella lista del predicato *press(Lista di Pressioni)*, di lunghezza 48, del file *press.pl*.

I Ricettori sono 23 e seppur non disponibili in una loro lista, sono ritrovabili nel predicato *ricet\_press( Denominazione, Lista di Impatti Ricettore/Pressioni)*, il quale include, per i singoli ricettori, la lista di correlazione tra la stessa e le Pressioni. Questo predicato si trova nel file *ric\_press.pl*.



Nelle matrici coassiali fornite dall'ARPA, l'Agenzia ambientale della Regione Emilia-Romagna, le correlazioni Azioni POR/Opere, così come quelle Opere/Pressioni e Pressioni/Ricettori sono espresse con fattori qualitativi: Alto, Medio, Basso, Nullo, Low, Intermediate, High. Non avendo disponibilità di dati più precisi in merito, per avere dei valori numerici validi si è deciso semplicemente di normalizzare le correlazioni per le singole Azioni POR, mentre per quanto riguarda le Pressioni e i Ricettori, sono stati sostituiti i valori alfabetici con dei valori numerici fissi: 0 per Nullo, 0.25 per Basso, 0.5 per Medio, 0,75 per Alto, -0.25 per Low, -0.5 per Intermediate, -0.75 per High. Le emissioni di anidride carbonica collegate alle Opere sono state valutate grazie alla modellizzazione con Co2mpare. Partendo da dei piani di valutazione preesistenti, sono stati ritrovati alcuni dei valori, mentre altri sono stati ricondotti ad essi tramite delle speculazioni o degli adattamenti. Per i restanti invece, è stato necessario creare dei nuovi scenari, in cui costruire da zero dei "Programme" che riflettessero le Opere dei modelli forniti. Questo è stato realizzato sulla base di alcune speculazioni e sulla creazione di SIC ad-hoc per la valutazione delle emissioni nei casi specifici.

#### *2.4 Il modello secondo la Programmazione Logica a Vincoli*

Per creare un problema di Programmazione Logica a Vincoli servono 3 elementi: delle variabili, dei *constraint* e degli obiettivi.

Le variabili rappresentano le possibili decisioni, ovvero i possibili valori da assegnare ad Opere, Azioni, ecc.; i constraint sono le equazioni (o disequazioni) che restringono i valori delle variabili; gli obiettivi rappresentano le variabili, o combinazione delle stesse, che vogliamo massimizzare o minimizzare.

Chiamiamo quindi  $O_i$  le Opere, le quali rappresentano la quantità di soldi spese per l'Opera  $i$ ; le Azioni POR, sempre espresse in quantità di soldi investiti, sono definite con  $A_j$ ; le Pressioni  $P_k$  e i Ricettori  $R_l$  invece sono delle quantità numeriche generiche.

Dobbiamo anche definire gli Outcome e i costi delle Opere: gli Outcome Energetici dell'intera Opera saranno definiti come  $E_i$ , espressi in MW, le emissioni di anidride carbonica come  $C_i$ , espresse in tonnellate di CO2 all'anno, mentre i Costi di Investimento  $S_i$ ; infine la quantità di Opera realizzata con i soldi ricevuti sarà indicata con  $Q_i$ .

Guardando lo schema riassuntivo del modello in figura 9, notiamo di dover creare innanzitutto le formule che identificano le relazioni delle matrici coassiali. Per calcolare le Opere avremo:

$$O_i = \sum_{j=1}^{322} A_j * Moa_{ij} \quad (1)$$

dove Moa è definita come la Matrice Opere/Azioni POR.

Similarmente, le Pressioni sono definite dalla seguente formula, in cui Mop è la Matrice Opere/Pressioni:

$$P_k = \sum_{i=1}^{115} O_i * Mop_{ik} \quad (2)$$

Mentre i Ricettori si ricavano con la seguente formula:

$$R_l = \sum_{i=1}^{48} P_i * Mrp_{lk} \quad (3)$$

O, in alternativa, usando solo elementi positivi per la matrice Mrp, che contiene le correlazioni Ricettori/Pressioni:

$$R_l = \sum_{i=1}^{29} P_i * Mrp_{lk} - \sum_{i=30}^{48} P_i * Mrp_{lk} \quad (3a)$$

Dati gli Outcome energetici e ambientali delle Opere, ricavati dai predicati *oucomes* e *carbon*, calcoliamo semplicemente il valore totale degli Outcome per Opera tramite le formule (4)

$$E_i = OUTCOME\_EN_i * O_i \quad (4) \text{ e}$$

$$C_i = OUTCOME\_AM_i * O_i \quad (5)$$

Mentre se vogliamo avere l'Outcome totale del piano e l'emissione totale di anidride carbonica prevista, usiamo le seguenti formule:

$$ENERGIA\_TOTALE = \sum_{i=1}^{115} E_i \quad (6)$$

$$CO2\_TOTALE = \sum_{i=1}^{115} C_i \quad (7)$$

Per calcolare invece la quantità di effettiva realizzazione dell'opera (quanti chilometri di strade, quale portata delle rete idraulica viene realizzata...) ci si riferisce al seguente calcolo:

$$Q_i = O_i * QTA\_OPERA_i \quad (8)$$

Dove QTA\_OPERAI è il valore di investimento ritrovato nel predicato *cost\_activity*.

Rimangono quindi gli ultimi vincoli del modello. Vista la portata dei finanziamenti ricevuti negli ultimi cicli settennali, abbiamo imposto una spesa annuale di 50 milioni di Euro; in più, come previsto dalle regolamentazioni europee e dalle direttive regionali, il 60% dei fondi devono essere destinati ad Azioni POR relative all'Obiettivo tematico 1 - Ricerca, sviluppo tecnologico e innovazione, mentre il 20% deve essere impiegato in Azioni incluse nell'Obiettivo Tematico 4 - Energia sostenibile e qualità della vita. I vincoli dettati da questi constraint sono i seguenti:

$$FONDI = \sum_{j=1}^{322} A_j = 50000000 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^5 A_j = FONDI * 0.6 \quad (9a)$$

$$\sum_{j=17}^{18} A_j = FONDI * 0.2 \quad (9b)$$

#### 2.4 Il codice dell'ottimizzatore

Per realizzare nel modo più efficace un'applicazione che risolva un problema di programmazione logica a vincoli, si è scelto di usare il Prolog come linguaggio di programmazione. Il Prolog (contrazione del francese PROgrammation en LOGique) è un linguaggio di programmazione che adotta

il paradigma di programmazione logica, che consente l'espressione del problema in forma logica invece della traduzione di un algoritmo di soluzione in forma di istruzioni da eseguire da parte della macchina, fornendo uno strumento di lavoro a linguisti privi di conoscenze informatiche.

Attualmente il Prolog è impiegato in molti programmi di intelligenza artificiale.

Il Prolog si basa sul calcolo dei predicati, tuttavia la sintassi è limitata a formule dette clausole di Horn (disgiunzioni di letterali del primo ordine con al più un letterale positivo), mentre l'esecuzione di un programma Prolog è comparabile alla dimostrazione di un teorema mediante risoluzione.

Per quanto riguarda invece la parte di ottimizzazione del problema, ci si è appoggiati sulla libreria di CPLEX, un programma di ottimizzazione che prende il nome dal metodo del simplesso (simplex method), implementato in linguaggio C. CPLEX è attualmente mantenuto e sviluppato in IBM e risolve problemi di programmazione lineare intera, problemi di programmazione lineare anche di notevoli dimensioni, utilizzando le varianti primale o duale del metodo del simplesso o metodi di punto interno; risolve inoltre problemi di programmazione quadratica convessa, e problemi con vincoli quadratici convessi.

#### - *Creazione delle variabili*

Per ognuno dei tipi di variabile, vengono cercati i predicati che le contengono: *pressioni* per le Pressioni; *azioni* per le Azioni; *cost\_activity* per le Opere; *ricet\_press* per i Ricettori. Se non esiste un predicato contenente solo la lista di variabili, nello specifico per Opere e Ricettori, viene usato il predicato *findall*, che estrae in questo caso solo i nomi delle variabili dai predicati in cui sono contenuti insieme ad altre informazioni. Il predicato *length*, applicato sulle singole liste, restituisce la lunghezza di queste ultime.

Avendo a disposizione per ogni tipo di variabile una lista dei nomi delle stesse, si devono creare le variabili vere e proprie. Viene invocata la funzione *crea\_var* (o *crea\_var\_names*, in base si voglia o no mantenere il nome della

variabile). Tale predicato ha come input la lista di nomi, la lunghezza della lista, un valore di upper bound e uno di lower bound. Dopo un controllo sui nomi della lista appoggiandosi sulla libreria Eplex, il predicato crea le variabili vere e proprie, tutte con i relativi upper bound e lower bound, nel nostro caso molto ampi, tendenzialmente infiniti.

- *Creazione outcomes energetici*

La lista degli outcome energetici viene caricata tramite il predicato *outcome*, quindi viene invocata la libreria Eplex per creare i vincoli di outcome come scritti nelle formule (4) e (6), ovvero eseguendo le moltiplicazioni per le singole Opere ed effettuando la sommatorie dei risultati. La sommatoria di tutti gli outcome energetici viene dichiarata con il nome Outcome.

- *Creazione vincoli di costo*

Tramite un predicato ricorsivo, *sum\_opere*, viene scandita la lista delle Opere e realizzata la somma di tutti gli elementi, questo valore viene poi inserito nel sistema di vincoli dalla libreria Eplex con il nome 'Costo'. Quindi tramite il predicato *nth1*, che restituisce l'n-esimo elemento di una lista, si isolano alcune Opere. Nello specifico sono identificate le azioni OB1.Az.1.0.1."Sostenere dottorati e borse ricerca per il mondo industriale per inserimento nell'organico dell'impresa", OB1.Az.1.0.2."Incentivare l'impiego dei ricercatori tecnico-scientifici e la loro mobilità orizzontale", OB1.Az.3.0.4."Incentivare l'impiego dei ricercatori tecnico-scientifici e la loro mobilità orizzontale", OB1.Az.3.0.5."Sostenere dottorati e borse ricerca per il mondo industriale per inserimento nell'organico dell'impresa", OB1.Az.4.0.6."Sostenere dottorati e borse ricerca per il mondo industriale per inserimento nell'organico dell'impresa", riguardanti il settore della ricerca, a cui va destinato il 60% dei fondi; e le azioni OB4.Az.1.1.28."Sostenere la formazione di capitale umano e competenze per la gestione efficiente dell'energia", OB4.Az.1.3.30."Sostenere la formazione di capitale umano e competenze per la gestione efficiente

dell'energia", facenti parte del settore energetico, a cui invece verrà attribuito almeno il 20% del capitale.

Il predicato *cost\_singoli*, scandisce tutti i predicati *cost\_activity*, in modo tale da trovare i singoli Costi di Gestione unitari delle Opere. Questo è necessario per poter sapere oltre ai soldi spesi nelle singole Opere, anche la quantità di Opera che viene realmente realizzata, come chilometri di strade, megawatt di energia prodotta, ecc. Tali valori vengono inseriti in una lista, denominata *LoQta*.

Il predicato *cost\_actions*, invece, crea una variabile, *CostoAzioni*, che rappresenta la somma dei soldi usati per finanziare ogni singola azione. Questa viene poi inserita nel sistema di vincoli ed eguagliata a un valore di 50 milioni, così come è stato scritto in (9).

#### - Creazione Matrici Coassiali

Il predicato *somma\_righe* crea i vincoli che realizzano effettivamente le tre matrici coassiali del modello base dell'ottimizzatore, tramite la libreria Eplex, che di fatto realizza una lista in cui sono contenuti i singoli vincoli contenuti nelle formule (1), (2) e (3), tramite delle chiamate ricorsive sulle liste *Opere* e *Azioni* per creare la lista di liste *LoLOperaAzione*, su *Ricettori* e *Pressioni* per creare *LoLRicetPress* e su *Pressioni* e *Opere* per realizzare *LoLPressOpere*.

#### - Creazione outcomes ambientali

Similarmente alla creazione degli outcomes energetici, la lista di impatti ambientali viene caricata dal predicato *carbon*, quindi vengono create le equazioni per stabilire l'impatto totale del piano realizzato, come scritto nelle formule (5) e (7). La sommatoria delle emissioni ambientali viene definita con il nome *EmissioniCarbon*.

#### - Invocazione Ottimizzatore e stampa risultati

Per realizzare il piano che ottimizzi la funzione obiettivo rispettando i vincoli imposti ed eventuali vincoli addizionali, viene invocato l'ottimizzatore tramite la funzione *eplex\_solve*. Dopo che la soluzione viene computata, ritrovabile con il nome *typed\_solution*, vengono messi a video delle stampe di controllo, che restituiscono i valori per le Opere, le Pressioni, i Ricettori, gli Outcomes energetici e ambientali.

Per facilitare la lettura dei dati ed evitare che vengono stampate anche delle Azioni o Opere con valori nulli, viene effettuato un ciclo sulle variabili delle Azioni e delle Opere per selezionare solo quelle con valori diversi da zero, ovvero quelle in cui il piano prevede un finanziamento.

### *2.5 Ottimizzazione multi-obiettivo e il metodo Normalized Normal Constraint*

Nella ottimizzazione multi obbiettivo può capitare di dover effettuare dei trade-off tra obiettivi non comparabili o in conflitto tra di loro. Solitamente, la soluzione di un problema multi obbiettivo viene detta soluzione di Pareto, od Ottimo di Pareto, ovvero una soluzione in cui il miglioramento di un obiettivo comporta obbligatoriamente il peggioramento di un altro.

Il metodo Normalized Normal Constraint appartiene alla classe di metodi per ottenere una soluzione di Pareto in cui si genera una serie di possibili soluzioni, per poi selezionarne una. Questo metodo assolve anche dei requisiti importanti per un metodo di risoluzione di problema multi obbiettivo: genera un set distribuito di punti di Pareto senza tagliare delle regioni; genera tutte e solo le soluzioni di Pareto possibili ed è relativamente semplice da applicare.

Il Global Optimizer prevede anche la possibilità di realizzare una ottimizzazione multi obbiettivo, tramite il metodo dei *Vincoli Normali Normalizzati (Normalized Normal Constraint)*[12]. Tramite il predicato *nnc*, infatti, è possibile cercare delle soluzioni che appartengano alla frontiera di Pareto.

Definiamo ora un problema di ottimizzazione multi obiettivo con le seguenti formule:

$$\min_x \{\mu_1(x) \mu_2(x) \cdot \cdot \cdot \mu_n(x)\}, (n \geq 2) \quad (10)$$

con:

$$g_j(x) \leq 0, (1 \leq j \leq r) \quad (11)$$

$$h_k(x) = 0, (1 \leq k \leq s) \quad (12)$$

$$x_{li} \leq x_i \leq x_{ui}, (1 \leq i \leq n_x) \quad (13)$$

Un paio di definizioni prima di spiegare il metodo di risoluzione. Il vettore  $x$  indica le variabili, mentre  $\mu_i$  l' $i$ -esimo obiettivo. Come parte della risoluzione, bisogna trovare i punti  $\mu^{i*}$ , ovvero gli anchor points, o vertici ottimi. Il vertice ottimo  $i$  viene identificato minimizzando un singolo obiettivo, indipendentemente dagli altri, tale soluzione è indicata con  $\mu^{i*}$ . La linea che unisce i due vertici ottimi è detta linea di Utopia, o se i vertici sono più di uno, iperpiano di Utopia,  $P^u$ . La linea di Utopia viene divisa in più parti di uguale lunghezza, in questo modo:

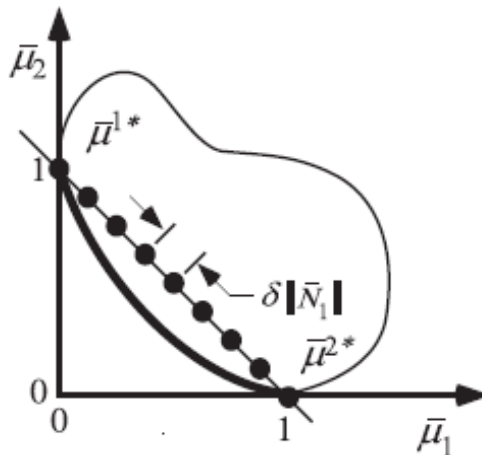


Fig. 10 Divisione della linea di Utopia

La figura 11a rappresenta lo spazio non-normalizzato e la frontiera di Pareto di un problema con due obiettivi, la figura 11b invece mostra la frontiera di Pareto normalizzata, in cui i vertici ottimi sono entrambi a distanza uno del punto di Utopia,  $\mu^u$ . In questo caso il punto di Utopia si troverà all'origine degli assi.



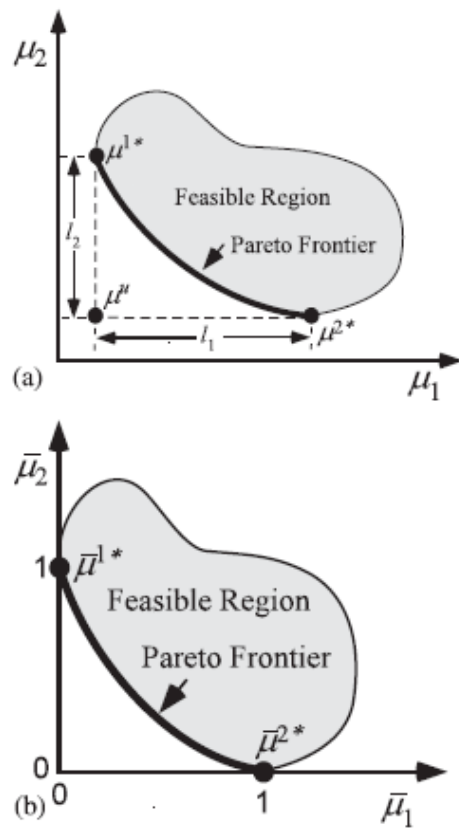


Fig. 11 Spazio metrico nel caso di un problema con 2 obiettivi

Nella figura 12, uno dei punti generici che intersecano i segmenti viene usato per definire una normale alla linea di Utopia. Essa viene utilizzata per ridurre lo spazio delle soluzioni possibili.

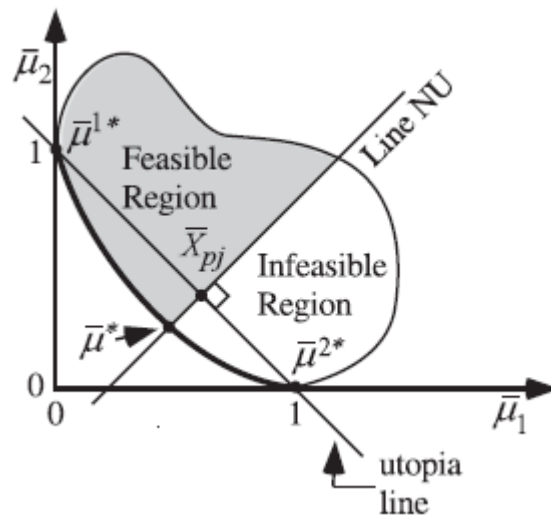


Fig. 12 Riduzione dello spazio delle soluzioni tramite una normale alla linea di Utopia

Ecco ora i passaggi di risoluzione del metodo Normalized Normal Constraint, nel caso di due funzioni obiettivo, scritti in Prolog nel file *multi\_obj.pl*.

- *Determinazione dei vertici ottimi*

Si ottengono i due vertici ottimi,  $\mu^{1*}$  e  $\mu^{2*}$ , risolvendo i due problemi di minimizzazione P1 e P2 separatamente. La linea che unisce questi due punti è la linea di Utopia. Nel caso in cui il problema proposto non sia di minimo, bisognerà prima portare i problemi di massimo sotto forma di problemi di minimo.

- *Mapping degli obbiettivi e normalizzazione*

Lo spazio metrico viene normalizzato per evitare dei problemi in caso di *scaling*.

Indichiamo quindi con  $\bar{\mu}$  lo spazio normalizzato di  $\mu$ . Definiamo i punti di utopia  $\mu^u$  e indichiamo con  $l_1$  e  $l_2$  le distanze tra  $\mu^{1*}$  e  $\mu^{2*}$ , e il punto di Utopia  $\mu^u$ . Una volta realizzato lo spazio normalizzato, possiamo passare alla generazione dei punti di Pareto come indicato nella figura 10.

- *Vettore della linea di Utopia*

Definiamo  $\bar{N}_1$  come la direzione da  $\mu^{1*}$  a  $\mu^{2*}$ , ovvero  $\bar{N} = \mu^{1*} - \mu^{2*}$ .

- *Incrementi normalizzati e generazione dei punti sulla linea di Utopia*

Viene calcolato un incremento normalizzato  $\delta 1$  lungo la direzione di  $\bar{N}_1$ , per un prescritto numero di soluzioni  $m1$ , così:

$$\delta 1 = \frac{1}{m1 - 1}$$

Vengono quindi valutati i punti sulla linea di Utopia, equamente distribuiti lungo la direzione di  $\bar{N}_1$  e distanziati tra loro di  $\delta 1$ .

- *Generazione dei punti di Pareto*

Sfruttando i punti equamente distribuiti sulla linea di Utopia, si genera il corrispondente set di punti di Pareto risolvendo una serie di ottimizzazioni sul problema P2. Ogni serie di ottimizzazioni corrisponde a un punto sulla linea di Utopia.

- *Valutazione dei valori della metrica di Pareto*

Si valutano quindi le metriche non normalizzate per ogni punto di Pareto. Dal momento che la funzione  $\mu(x)$  è nota, la valutazione è diretta. Tuttavia è possibile che alcuni di questi punti siano dominati da altri punti della serie. Per questo si applica un filtro di Pareto.

- *Applicazione del filtro di Pareto*

Il predicato *pareto\_filter* controlla per ogni punto di Pareto, se esso è dominato da altre soluzioni trovate. Questo è possibile in alcuni casi in particolare, come ad esempio se lo spazio delle soluzioni è simile a quello rappresentato in figura 13

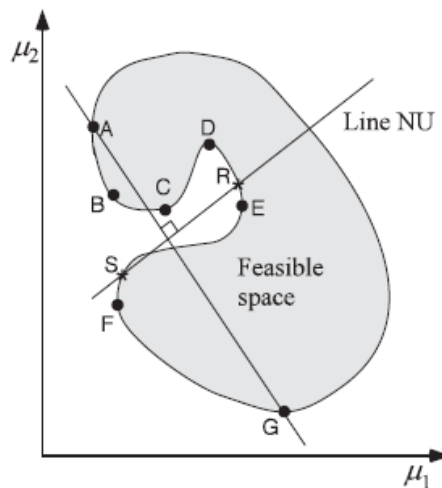


Fig. 13 Spazio delle soluzioni in cui alcuni punti di Pareto possono essere dominati da altri

Il filtro, quindi, prende in esame tutti i punti di Pareto della serie e verifica se essi sono dominati o meno. Un vettore  $\mu(x)$  è un ottimo di Pareto globale se non esiste un altro vettore  $\mu$  tale che  $\mu_j \leq \mu_{xj}$  per ogni  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , e che  $\mu_j < \mu_{xj}$  per almeno un indice di  $j \in \{1, 2, \dots, n\}$  nello spazio delle soluzioni. Nel caso in cui un punto sia non dominato e sia quindi un ottimo di Pareto, viene aggiunta nel file di output, *pareto\_multi\_obj.csv*. [F] mdol

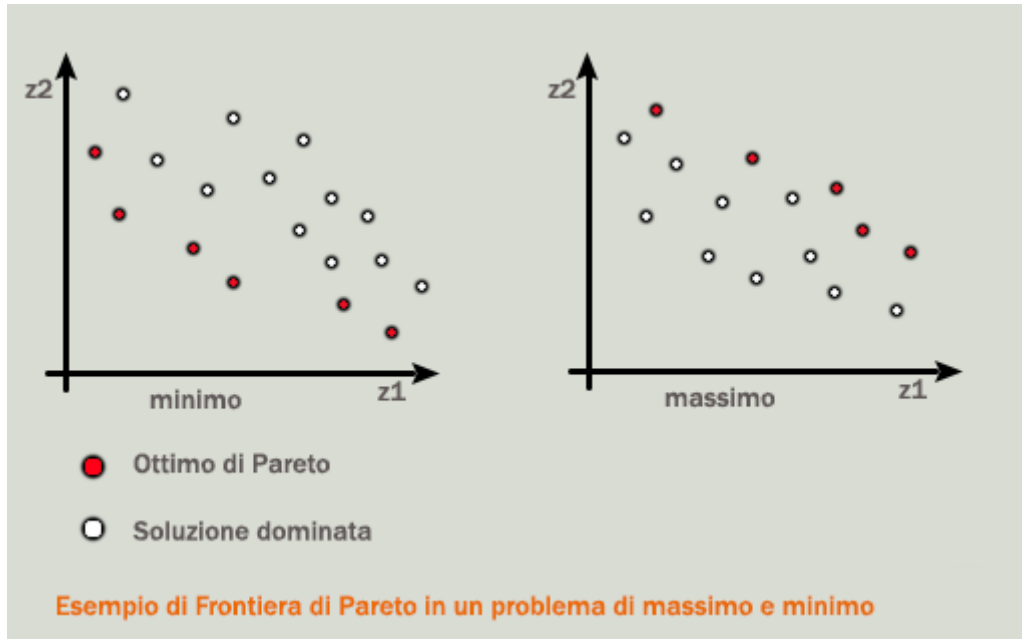


Fig.14 Esempio di punti dominati e non dominati in un problema di massimo o minimo

### 3. Risultati dell'ottimizzatore

#### 3.1 I risultati del predicato di ottimizzazione

Diversamente dall'ottimizzatore per il Piano Energetico Regionale, il quale richiedeva una notevole differenziazione tra le Opere produttive e un numero di attività secondarie da dover effettuare per poter eseguire quelle principali, il modello qui usato ha dei vincoli meno stringenti. Nella sua versione con obiettivo singolo, l'ottimizzatore riesce a creare un piano che contempli l'utilizzo di 3 voci dalla lista delle Azioni POR, principalmente per via del vincolo di differenziazione dell'uso dei fondi.

Ad esempio, scegliendo come funzione obiettivo da minimizzare l'emissione di anidride carbonica, i fondi sono stati ripartiti tra 3 Azioni, 2 POR: OB1.Az.3.0.4. Incentivare l'impiego dei ricercatori tecnico-scientifici e la loro mobilità orizzontale, OB4.Az.1.3.30. Sostenere la formazione di capitale umano e competenze per la gestione efficiente dell'energia e una tra quelle create dall'ARPA, Assistenza tecnica, per la precisione con uno stanziamento di 30 milioni di euro per la prima e di 10 per le altre due.

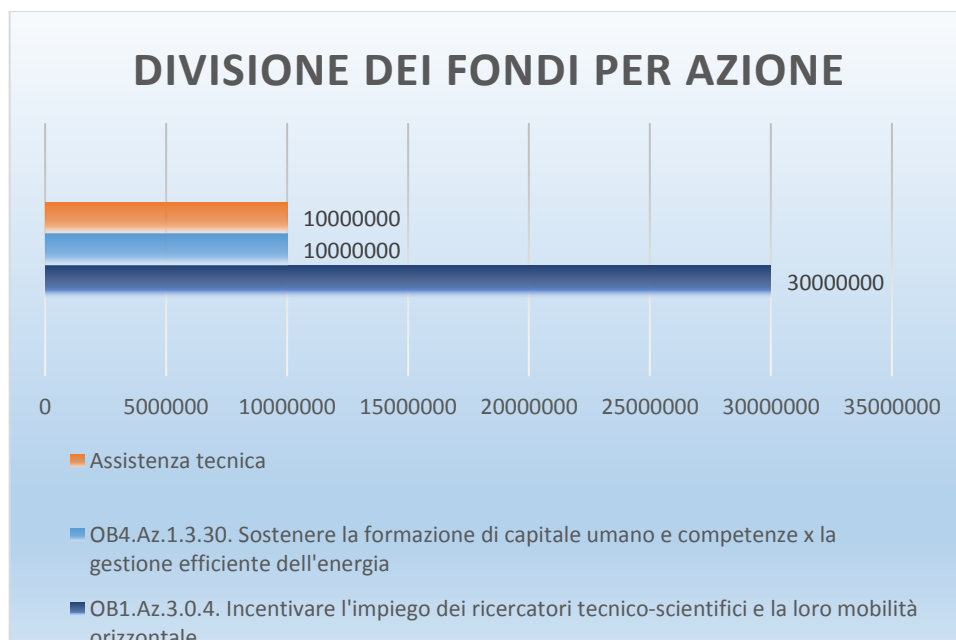
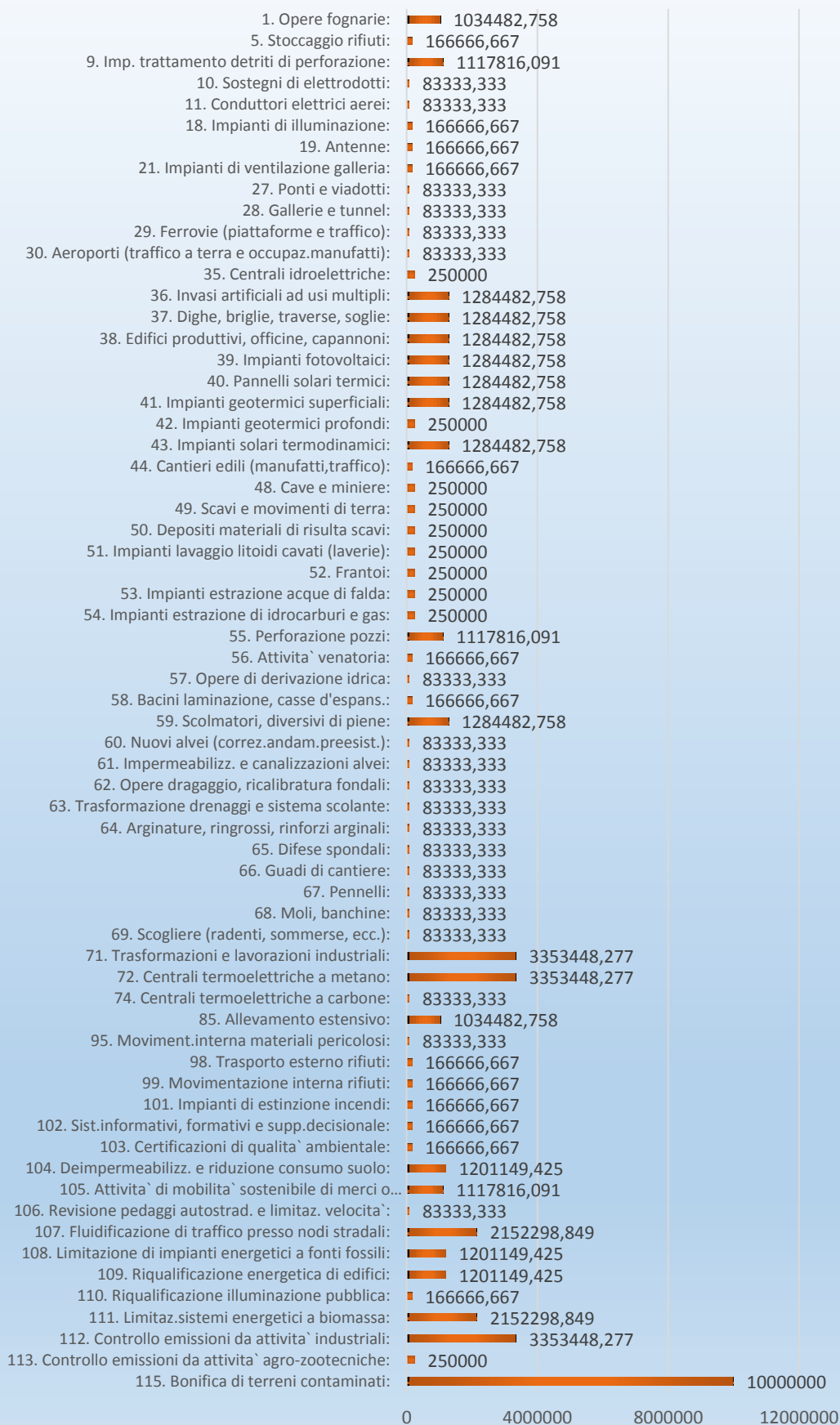


Fig.15 Divisione dei fondi per Azione nel problema di test

Fig.16 Divisione dei fondi per Opere nel problema di test

## RIPARTIZIONE DEI FONDI PER OPERE



La presenza di sole 3 Azioni nel piano sviluppato non deve fare credere però, che le Opere messe in atto dal piano ottimizzato siano poche: grazie alla densità della matrice coassiale Azioni/Opere, ben 65 Opere delle 115 possibili hanno dei fondi ad essi riservati. I dati possono essere osservati nel grafico in alto.

Naturalmente i dati qui esposti sono relativi ad una specifica funzione obbiettivo. Pochi vincoli inseriti nell'ottimizzatore possono permettere l'inclusione della totalità delle Opere, se necessario, o la ripartizione dei fondi nel modo desiderato.

Per quanto riguarda la produzione di anidride carbonica dovuta alla realizzazione del piano, la stima totale è di 19.450.362 chilogrammi all'anno. Considerando che la produzione attuale è di 47 tonnellate all'anno possiamo notare come l'Ottimizzatore sia riuscito a diminuire l'inquinamento ambientale dovuto a CO<sub>2</sub>, puntando su Opere a basso impatto ambientale. Realisticamente, il piano mancherà di qualche Opera fondamentale per il Programma Operativo o potrà avvenire il caso in cui ad alcune Opere siano richiesti più fondi di quelli previsti dal piano, quindi la percentuale di abbattimento di anidride carbonica non sarà il 50% alla fine, ma rimane comunque un dato incoraggiante, soprattutto in previsione di futuri sviluppi.

Di seguito sono elencate anche le emissioni di altri gas serra, notevolmente ridotte rispetto ai vecchi Programmi Operativi

SOx:	444386470746.269 g	Hg:	82015391933.1414 mg
NOx:	6056538468994.07 g	Ni:	285834199242.36 mg
NMVOC:	628328912640.0 g	Pb:	60423617453.312 mg
CH <sub>4</sub> :	380689655261.538 g	Se:	15326026478.9391 g
CO:	5026631301120.0 g	Zn:	23162386.6904362 microgTEQ
N <sub>2</sub> O:	33994694931.6923 g	PM <sub>10</sub> :	5834.6052073209 g
NH <sub>3</sub> :	2953846142.03077 g	DIOX:	882486.932905622 g
As:	91181942265.5519 mg	PAH:	3137.73131699776 g
Cd:	8341738094.53965 mg	PCB:	704510286474.342 mg
Cr:	3098828969568.94 mg	HCB:	177101066089.133 mg
Cu:	584432546487.207 mg		

*Fig. 17 Emissioni degli altri gas serra nel problema di test*

### 3.2 Il programma di rappresentazione dati VisualApp

Al fine di poter essere utilizzabile anche da non esperti del settore informatico, il Global Optimizer include una applicazione per la visione dei risultati di ottimizzazione in forma grafica, più facilmente leggibili ed immediati.

Il programma, realizzato in C#, propone un form diviso in due parti, in una viene disegnato il grafico che rappresenta sugli assi le funzioni obiettivo (due o tre a seconda dei casi) nell'altra sono presenti diversi tab in cui sono visualizzati i dati relative ai diversi piani realizzati dall'Optimizer, quelli in cui vengono migliorate le singole funzioni obiettivo e quelle che si poggiano sulla frontiera di Pareto.

#### Parte di visualizzazione

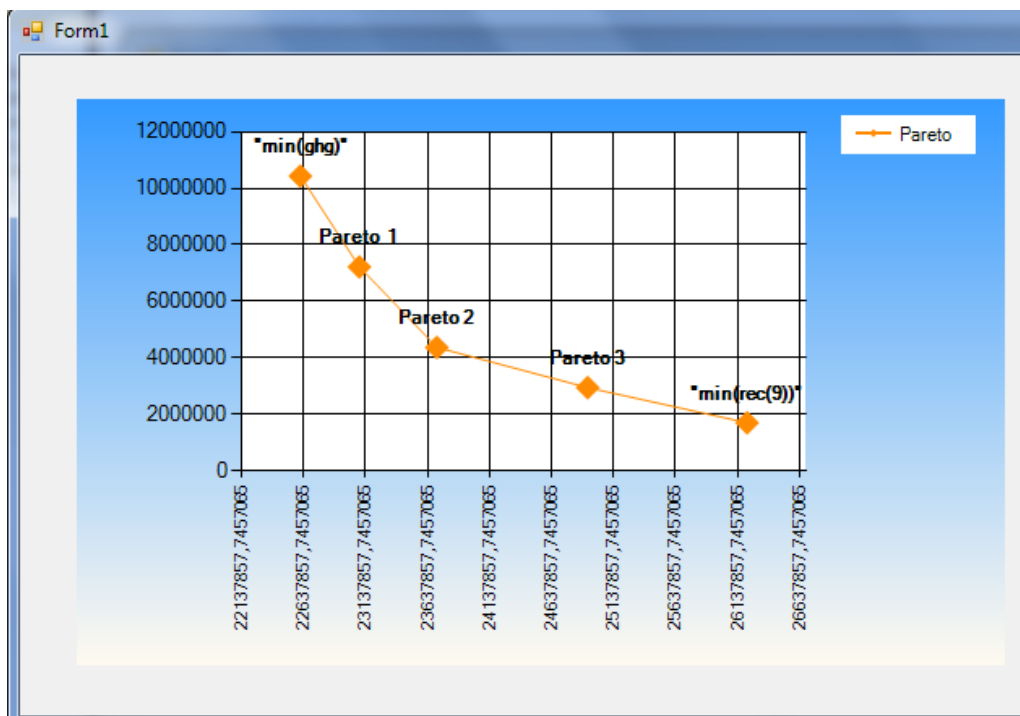


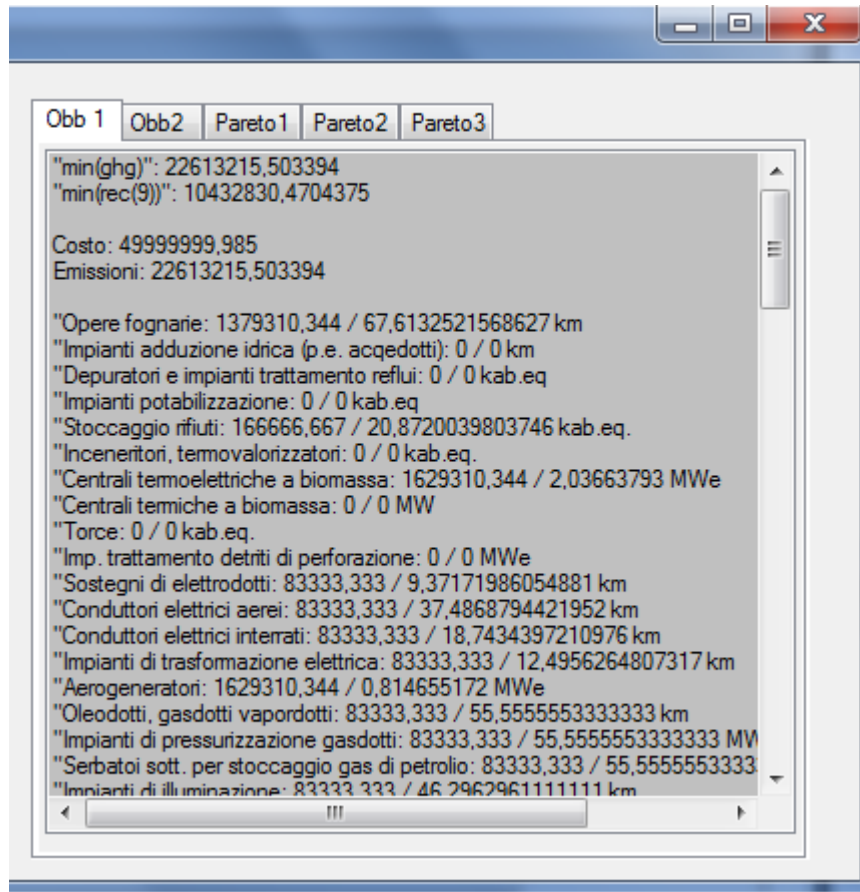
Fig. 18 Parte grafica del VisualApp (beta)

Sugli assi (due o tre a seconda del predicato multi obiettivo usato) sono presenti i valori delle funzioni obiettivo (in questo caso l'emissione di CO2 e il valore del recettore 9 (qualità dell'aria)). Nel grafico sono presenti i punti



relativi al miglioramento delle 2 funzioni obiettivo e un numero di piani appartenenti alla frontiera di Pareto.

*Parte dati*



*Fig. 19 Parte dati del Visualapp (beta)*

Per ogni singolo piano realizzato dal Global Optimizer, vengono realizzati dei tab. I primi contengono i dati relativi alle funzioni obiettivo, le altre relative ai piani della frontiera di Pareto. Per ogni tab, viene visualizzato il valore delle due funzioni obiettivo, il costo totale del piano, le emissioni di CO2 e per ogni Opera, i soldi spesi e la quantità di opera che è possibile realizzare con tale somma, ognuna espressa nelle specifiche unità di misura.

## 4. Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è stato realizzare uno strumento di supporto alle decisioni con il quale creare dei piani validi per la ripartizione dei Fondi Strutturali Europei, nell'ambito del Programma Operativo Regionale.

I piani hanno dovuto rispettare dei precisi vincoli finanziari e di vario genere, oltre a tenere conto degli impatti delle Opere stesse sui Recettori ambientali; ogni piano elenca anche la suddivisione dei fondi per Azioni e Opere, quantificando le quantità di lavoro svolte, le quantità di agenti inquinanti rilasciati e l'impatto ambientale totale.

Questo è stato possibile grazie ad una modellizzazione del problema secondo il paradigma della Programmazione Logica a Vincoli. Tramite essa, si è riusciti a realizzare una formalizzazione dei vincoli, e in seguito a inserirli in un programma scritto in Prolog, utilizzando la libreria Eplex di CPLEX.

Oltre alla realizzazione di Piani che potessero massimizzare determinati obiettivi, è stato possibile realizzare una ottimizzazione multi obiettivo utilizzando il metodo di Normalized Normal Constraint, il quale riesce a trovare i piani migliori che si trovano sulla Frontiera di Pareto.

Infine, i dati raccolti del Global Optimizer vengono visualizzati in una forma leggibile e comprensibile anche ai non addetti al settore, tramite un applicativo di rappresentazione dati semplice ed intuitivo, denominato VisualApp.

Il risultato è un sistema flessibile ed adattabile, in grado di garantire in tempi molto brevi la creazione di Piani ottimi in base agli obiettivi richiesti.

Purtroppo al momento i dati di input sono abbastanza vaghi, le matrici di correlazione Azioni/Opere/Pressioni/Recettori sono espresse con valori qualitativi e per essere utilizzabili sono stati tradotti in valori numerici fittizi.

Nonostante ciò, le possibilità del Global Optimizer sono molto vaste e il programma ha sicuramente ampi margini di espansione: la modifica di poche righe di codice può permettere la formalizzazione di nuovi set di vincoli, adattandosi a diverse richieste di utente; inoltre delle modifiche di media entità possono rendere il programma capace di realizzare piani operativi anche per altri settori di amministrazione politica.

Pur con la necessità di migliorare in alcuni aspetti, completezza dei dati innanzitutto, il risultato ottenuto è quello di un prodotto molto valido e potenzialmente utile in molti campi d'applicazione.



## Riferimenti Bibliografici

1. "Rules for Application of ERDF". European Union. Retrieved 2012-03-11.
2. Regulation (EU) No 1300/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on the Cohesion Fund and repealing Council Regulation (EC) No 1084/2006
3. Regulation (EU) No 335/2014 of the European Parliament and of the Council of 11 March 2014 amending Council Regulation (EC) No 1198/2006
4. <https://partecipazione.regione.emilia-romagna.it/>
5. Regione Emilia-Romagna, Programma Operativo Regionale, Fondo Europeo di sviluppo regionale 2014-2020
6. Il Portale della Regione Emilia-Romagna, La politica di coesione 2007-2013 <http://www.regione.emilia-romagna.it/>
7. Regione Emilia-Romagna, Direzione Generale Attività Produttive, Commercio, Turismo, Programma Operativo Regionale 2007-2013, Fondo Europeo di sviluppo Regionale – Obiettivo competitività regionale e occupazionale
8. Inventario regionale delle emissioni di gas serra Regione Emilia-Romagna-ARPA ER (2009, dati 2007)
9. Prof. Beatrice Lazzerini, Dipartimento di Ingegneria della Informazione, Università degli Studi di Pisa, Sistemi di Supporto alle Decisioni
10. Co2mpare Project Team, Co2mpare Final Report
11. [E-policy ID Card, <http://www.epolicy-project.eu/node>
12. [Messac, A., Ismail-Yahaya, A., and Mattson, C. A., "The Normalized Normal Constraint Method for Generating the Pareto Frontier," Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 25, No. 2, July 2003, pp. 86-98.



## **Ringraziamenti**

Questo lavoro rappresenta per me il traguardo di una corsa iniziata ben 19 anni fa, quando intrapresi la via dello studio, senza sapere dove col tempo mi avrebbe portato.

Dopo tutto questo tempo, ho capito che mi ha fatto crescere molto, sia come studioso, sia come persona, accrescendo in me il piacere di conoscere ogni giorno cose nuove ed il valore dei piccoli gesti nella vita.

Dovrei ringraziare molte persone in questo spazio, persone che ho incontrato in molti luoghi nel corso di questi 25 anni. Vorrei partire dalla mia professoressa e referente, Michela Milano, che mi ha accolto con molta tranquillità e soprattutto pazienza, mettendomi a mio agio affinché potessi estrarre il meglio da questo lavoro. Lo stesso ringraziamento va a Marco Gavanelli, che più di una volta mi ha tirato fuori da situazioni di impiccio, mi ha aiutato a capire il programma e in che verso indirizzare il mio lavoro.

Devo ringraziare i miei amici, tutti quelli che si sono accavallati nelle varie città in cui ho vissuto e mi sono stati accanto, per poco e per molto tempo. Non posso menzionarli tutti e non me ne voglia nessuno, ma devo ringraziare in particolare Alessandro, Fulvio e Barbara, che più degli altri mi sono stati vicini, soprattutto nel momento del bisogno.

Poi ci sono i miei parenti e mia sorella, che mi hanno sempre fatto sentire amato e voluto bene, che mi hanno accudito e insegnato moltissimo, oltre a darmi diverse lezioni di vita, che solo ora riesco a capire appieno.

Infine ci sono i miei genitori, senza cui niente di tutto questo sarebbe stato possibile. Il loro amore, i loro sacrifici e le loro sofferenze mi hanno permesso di essere dove sono ora e mi chiedo se il raggiungimento di questo traguardo possa mai essere abbastanza per ripagare tutto il sangue e il sudore che hanno versato per mantenermi agli studi in questi anni. Mamma, Papà, vi voglio bene.