



Ricerca di Sistema elettrico

SOLUZIONE TECHNOLOGICA DI SUPPORTO
ALLE DECISIONI ED INFORMATION FUSION
PER GRANDI MOLI DI DATI IN CONTESTO
SMART CITIES: Parte II – ESEMPI DI
PROCEDURE ED ALGORITMI PER IL
DECISION MAKING IN SMART CITIES
CONTEXT

G. Iovane

Soluzione Tecnologica di supporto alle decisioni ed information Fusion per grandi moli di dati in contesto smart cities:

Parte II – Esempi di procedure ed algoritmi per il decision making in smart cities context

Gerardo Iovane - Dipartimento di Informatica (DI) – Università di Salerno

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: D.6a Piattaforma ICT per la gestione di smart district

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Soluzione Tecnologica di supporto alle decisioni ed Information fusion per grandi moli di dati in contesto smart cities"

Responsabile scientifico ENEA: Marta Chinnici

Responsabile scientifico UNISA: Gerardo Iovane

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 SUPPORTO ALLE DECISIONI.....	7
2.1 I DSS (DECISION SUPPORT SYSTEM).....	8
2.1.1 <i>Classificazione dei DSS</i>	9
2.2 UTILITÀ E SCOPI DI UN DSS.....	10
2.2.1 <i>Componenti di un DSS</i>	11
3 UNA SOLUZIONE AVANZATA DI DSS PER IL PROGETTO DI INTERESSE.....	12
3.1 INTRODUZIONE ALLA SOLUZIONE ED IPERSPAZI DI DECISIONE.....	12
4 L' ENGINE.....	17
4.1 SCENARIO ED INDICI CARATTERISTICI.....	17
4.2 FUNZIONI OBIETTIVO.....	18
4.3 SCENARI E STATI: RAPPRESENTAZIONE E CLASSIFICAZIONE STATISTICA.....	18
4.4 SCENARIO S7.....	20
4.5 LE STRATEGIE DECISIONALI.....	27
4.5.1 <i>Algoritmo DSS_1</i>	29
4.5.2 <i>Algoritmo DSS_2</i>	31
4.5.3 <i>Algoritmo DSS_3</i>	32
4.5.4 <i>Algoritmo DSS_4</i>	32
4.5.5 <i>Algoritmo DSS_5</i>	33
4.5.6 <i>Algoritmo DSS_6</i>	34
4.5.7 <i>Algoritmo DSS_7</i>	35
4.5.8 <i>Algoritmo DSS_8</i>	36
4.5.9 <i>Algoritmo DSS_9</i>	37
4.5.10 <i>Algoritmo DSS_10</i>	38
4.5.11 <i>Algoritmo DSS_11</i>	39
4.5.12 <i>Algoritmo DSS_12</i>	40
4.5.13 <i>Considerazioni sugli Algoritmi di DSS</i>	41
4.6 LE STRATEGIE GESTIONALI.....	46
4.7 LE STRATEGIE OPERATIVE.....	47
4.7.1 <i>Ottimizzazione per Contiguità</i>	48
4.7.2 <i>Ottimizzazione dell'Evoluzione di Indici di primario interesse</i>	51
5 CONCLUSIONI.....	53

Sommario

Il presente studio rappresenta la Parte II della ricerca che trae origine dall'Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) e Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) sulla Ricerca di Sistema Elettrico relativamente al Piano Annuale di Realizzazione 2016. Il presente documento rientra nell'ambito dell'obiettivo D.6a Piattaforma ICT per la gestione di smart districts che prevede la realizzazione di una piattaforma software in grado di raccogliere grandi moli di dati provenienti da distretti urbani. La gestione e l'estrazione delle informazioni dai dati possono aiutare nella creazione di servizi capaci di migliorare la qualità delle città e indirizzarle alla smartizzazione.

Il presente documento rappresenta la seconda parte dello studio riguardante la tematica Information Fusion per grandi moli di dati in contesto smart cities.

L'obiettivo del presente rapporto è lo studio in ambito tecnico-scientifico delle metodologie di Decision Making per il trattamento delle informazioni oggetto del progetto.

1 Introduzione

La teoria delle decisioni studia il processo decisionale analizzando il comportamento degli attori da esso coinvolti ed esaminando, quindi, come questi prendono o dovrebbero prendere delle decisioni nel modo migliore possibile.

Il campo applicativo di tale teoria è assai vasto e comprende sia lo studio di situazioni assolutamente astratte che coinvolgono attori razionali, sia problemi della vita reale fornendo un contributo pratico alla loro risoluzione.

Quel che si fa è indagare su quali siano le conseguenze delle differenti decisioni, descrivendo con strumenti logico-matematici i comportamenti supposti razionali degli attori coinvolti.

Qui si darà enfasi maggiore a come le decisioni dovrebbero essere prese per massimizzare il benessere, non di come esse siano effettivamente prese.

Una prima distinzione da fare nella teoria delle decisioni è quella che contrappone le strategie individuali a quelle di gruppo. E' importante sottolineare che per strategia individuale si intende una strategia attuata non solo da un singolo individuo, ma anche da una singola entità quale aziende, ente pubblico, nazione e così via, purchè alla base vi sia il conseguimento di un unico obiettivo condiviso da tutti gli individui del gruppo. In questo tipo di strategie ci si concentra su come i vari individui agiscano per favorire i propri interessi, in modo egoistico senza dare rilevanza ad aspetti etici e morali.

In contrapposizione, invece, le decisioni di gruppo sono quelle decisioni prese da individui che appartengono alla stessa organizzazione, ma manifestano opinioni diverse riguardo le scelte che dovrebbero essere attuate e riguardo agli obiettivi che si vorrebbero raggiungere. Questo è l'ambito di studio più utilizzato nel nostro caso, dato che si tratta di decisioni prese da più individui che hanno un obiettivo comune, ma il cui conseguimento è vincolato a vari fattori propri dell'attività di ciascun individuo. La parte più rilevante della ricerca relativa alla teoria delle decisioni di gruppo è stata rivolta allo sviluppo di strategie comuni per governare i vari componenti del gruppo e alla distribuzione delle risorse all'interno del gruppo stesso ed in questo ambito assumono, spesso, grande rilevanza aspetti etici e morali.

Ad ogni modo non importa quale decisione si stia prendendo in considerazione, sia essa individuale o di gruppo, ma quel che importa è studiare le azioni alternative (ad esempio l'assegnazione di un determinato budget) perché ognuna produrrà delle conseguenze (ad esempio una diminuzione dei rischi) dipendenti dal contesto nel quale si sta prendendo la decisione (ad esempio il contesto della efficienza energetica).

Le decisioni sono quindi costituite da azioni, stati e conseguenze, con queste ultime che dipendono solitamente dall'azione e dallo stato in cui si trova il decisore al momento della decisione.

L'analista (che potrebbe essere il decisore stesso) deve quindi individuare l'insieme delle azioni, degli stati e delle conseguenze per poter caratterizzare in modo adeguato il problema e poter prendere la decisione migliore possibile. Una volta individuati questi tre elementi fondamentali si può procedere alla specificazione del problema che solitamente avviene attraverso la costruzione di tavole o alberi di decisione.

La specificazione di un problema decisionale implica alcune questioni importanti che vanno tenute in considerazione durante il processo decisionale.

La prima riguarda la descrizione appropriata degli stati di natura: ogni problema decisionale implica una serie di conseguenze e il decisore, per ognuna di esse, potrà dire se essa è migliore delle altre. Ma non è sempre facile per il decisore scegliere quale sia quella ideale e in questo ambito, così come per la teoria dei giochi, assume particolare rilievo il concetto di dominanza che può aiutare il decisore a scegliere l'alternativa migliore, laddove le altre siano tutte peggiori dal punto di vista dell'utilità. Sfortunatamente però accade raramente nella realtà che vi siano decisioni che dominano su certe altre.

Un'altra questione rilevante è quella relativa alla distinzione tra decisione giusta e decisione razionale. Si dice giusta una decisione che porta al raggiungimento di risultati (conseguenze) ottimali. E' ovvio che in condizioni di completa conoscenza del futuro basterebbe semplicemente affidarsi alla decisione giusta che sicuramente sarà quella che porterà un vantaggio maggiore.

Purtroppo nella maggioranza dei casi le decisioni vanno prese in condizioni di conoscenza parziale delle informazioni (condizione di info-incompletezza) e ciò risulta in un'impossibilità nel prendere la decisione

giusta, semplicemente perché non si può sapere quale essa sia. Ciò che si può fare in questi casi è prendere la decisione razionale facendo una valutazione completa di tutte le informazioni parziali a disposizione.

Da quanto detto si evince che le situazioni decisionali vanno diversificate tra di loro ed è per questo che usualmente si utilizza la seguente distinzione:

1. Decisioni in situazioni di certezza;
2. Decisioni in situazioni di rischio;
3. Decisioni in situazioni di incertezza.

Indichiamo con $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ l'insieme delle decisioni (azioni) alternative possibili, con $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_n\}$ l'insieme dei possibili stati di natura e con $C = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{ij}, \dots, c_{mn}\}$ l'insieme delle conseguenze, dove le conseguenze sono funzione dell'azione a_i e dello stato θ_j

$$c_{ij} = f(a_i, \theta_j) \text{ per } i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n.$$

Possiamo rappresentare il processo decisionale (dove è stato ipotizzato un numero discreto di alternative ed un numero discreto di stati di natura) in modo appropriato facendo ricorso alla tavola di decisione o all'albero di decisione.

Se l'agente, ovvero il decisore, conoscesse lo stato di natura, ad esempio θ_j , il problema di scelta si ridurrebbe al confronto tra m conseguenze (nel nostro caso $c_{1j}, c_{2j}, \dots, c_{ij}, \dots, c_{mj}$) e la scelta razionale equivarrebbe alla scelta giusta, sempre che siano note le conseguenze ed il decisore sia in grado di esprimere, in modo razionale, le sue preferenze riguardo alle conseguenze stesse. Il comportamento razionale consente, in altre parole, l'individuazione dell'alternativa ottimale che comporta il conseguimento del massimo beneficio.

Se lo stato di natura non è noto ma si dispone di una misura della probabilità dei vari stati di natura, si parla di decisioni in situazioni di rischio. Se non si dispone di alcuna informazione sulla probabilità dei vari stati di natura, si parla di decisioni in situazioni di incertezza.

Si supponga ora che le conseguenze siano esattamente definite e che siano, ad esempio, espresse in termini monetari

$$Y_{ij} = C_{ij} = f(a_i, \theta_j) \text{ per } i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$$

e che il beneficio per il decisore sia rappresentato esclusivamente dal valore monetario assumendo, ragionevolmente, che un valore monetario più elevato sia preferito ad un valore monetario più basso. L'azione ottima è, pertanto, quella cui corrisponde il valore monetario più elevato. Quindi, nel caso in cui il decisore si trova ad operare in situazioni di certezza, di conoscenza, in altre parole, dello stato di natura, il problema decisionale è praticamente risolto: basterà, infatti, scorrere la colonna dei valori monetari, individuare il più elevato e scegliere l'azione corrispondente a tale valore.

Molto più problematico è il caso in cui il decisore si trova ad operare in situazioni di estrema incertezza. Infatti, non essendo noto lo stato di natura, non è generalmente possibile operare il confronto tra i valori numerici a meno che non ci si riconduca ad una situazione analoga a quella prospettata in precedenza (situazione di certezza) dove ad ogni azione diversa corrisponde un solo valore numerico; si tratta, in altre parole, di passare, in qualche modo, da n colonne ad una sola colonna.

Tra i criteri esistenti per la risoluzione dei problemi di estrema incertezza assumono un certo rilievo quelli che fondano il loro criterio di decisione su elementi caratteristici (ad esempio la realizzazione più favorevole, quella meno favorevole, ecc.) e che vengono mostrati di seguito.

1. *Criterio del max-min o criterio di Wald.* Esso consiste nello scegliere l'azione a^* che corrisponde al massimo nella colonna "peggiore, quello cioè con il minimo importo, ovvero

$$a^* = \max_i (\min_j Y_{ij})$$

Vale la pena evidenziare che questo criterio è proprio del pessimista estremo che è convinto che qualsiasi scelta egli intraprenda, si verificherà sempre lo stato di natura (andamento del mercato, condizioni economiche, ecc.) che gli porterà il beneficio minimo.

In poche parole il decisore pessimista cerca sempre di "cadere in piedi", prendendosi il massimo dai benefici minimi che la natura secondo lui potrà offrirgli.

2. *Criterio del max-max.* Ovviamente in contrapposizione al pessimista estremo, c'è l'estremo ottimista, cioè colui che ritiene che, a prescindere da qualunque azione egli sceglierà, la natura sarà

tanto buona con lui da far sì che si verifichi sempre lo stato di natura che gli garantisce il beneficio maggiore. Questa scelta è data da

$$a^* = \max_i(\max_j Y_{ij})$$

Si può notare come questi due criteri siano agli antipodi, dato che prima l'azione era la peggiore che il pessimista potesse ragionevolmente scegliere e la migliore per l'ottimista.

3. *Criterio dell'equi-risultato.* Questo criterio si rifà un po' al detto "tagliare la testa al toro", cioè quando si è incerti su qualcosa ci si pone sempre nel mezzo per evitare di cadere troppo in errore. In questo caso, infatti, si considera ogni azione come se avesse la stessa importanza e si calcola il valore massimo della media aritmetica calcolata sui possibili valori derivanti da ciascuna azione.

Questo criterio è quello adottato dall'indeciso per antonomasia che non sa se essere più pessimista o più ottimista e decide di restare nel mezzo.

4. *Criterio di Savage o del min-max rimpianto.* Questo criterio prende il nome dal matematico che lo inventò. Esso si basa su quanto possa valere il rimpianto di una data scelta rispetto al valore massimo ottenibile. Per stabilire la scelta da effettuare si crea quella che viene definita per l'appunto "matrice dei rimpianti" definita come segue: per ogni elemento della tavola di decisione si sostituisce il dato originario con la differenza tra il massimo dei risultati ottenibili dallo stato di natura (la colonna) corrispondente all'elemento considerato e il valore dell'elemento stesso.

Su questa matrice dei rimpianti si applica poi il criterio del min-max rimpianto cioè

$$a^* = \min_i(\max_j r_{ij})$$

In poche parole, con il criterio del min-max rimpianto il decisore cerca di minimizzare i danni di una decisione errata.

Con la presente introduzione si è inteso inquadrare in modo semplice ed elementare il tema del decision making a cui diversi ambiti della ricerca, utilizzando metodologie e tecnologie diverse forniscono contributi e soluzioni di valore tra cui il soft computing con i diversi sottoambiti come la logica fuzzy, l'intelligenza artificiale, ecc.

2 Supporto alle Decisioni

Nell'ambito della gestione di processi più o meno complessi è molto importante poter trovare i giusti compromessi tra le decisioni prese dai vari organi coinvolti (players). Le decisioni, infatti, possono essere in contrapposizione e potrebbe essere estremamente dannoso per una data realtà operativa, di management o di governance se ognuno decidesse di perseguire solo il proprio obiettivo, senza coordinare una scelta di un decisore con quella degli altri decisori.

I tipi di decisioni si possono dividere in due categorie, caratterizzate da quali organi siano coinvolti:

- Decisioni intra-dominio: sono quelle decisioni che coinvolgono più decisori facenti parte dello stesso organo, sia esso di governance, di management o di operation.
- Decisioni inter-dominio: sono quelle decisioni che coinvolgono, comunque, più decisori ma in questo caso essi appartengono ad organi diversi, ad esempio un presidente di provincia (decisore di tipo governance) potrebbe essere in disaccordo con una decisione presa dal comandante della polizia locale (decisore di tipo operation), ovvero un comandante di una missione militare estera (decisore di tipo operation), potrebbe essere in disaccordo con un membro politico dell'organo UE (decisore di tipo governance).

Nella maggioranza dei casi ciò che succede è che i decisori hanno un obiettivo condiviso, ma ognuno mira a raggiungerlo in base a quelli che sono i propri metodi ed obiettivi secondari dettati dalla natura della carica istituzionale ricoperta. E' ovvio, ad esempio, che il sindaco di una città e il capo della polizia municipale vogliano entrambi la sicurezza dei cittadini, ma al primo interessa un ritorno politico, essendo in primis un politico e magari è più sensibile alla "sicurezza percepita", mentre al secondo interessa che diminuisca il numero di reati (sicurezza effettiva).

Da questa premessa si intuisce come prendere delle decisioni, laddove i decisori siano in contrasto tra di loro, è un compito arduo e per questo è complicato, anche per gli esperti, comprendere dove una decisione sia corretta piuttosto che un'altra. Questo perché è oneroso poter prevedere tutte le possibili conseguenze di una decisione, ma da un lato una decisione corretta può far sì che il territorio continui a crescere nel migliore dei modi, mentre dall'altro una decisione sub-ottimale, magari portata avanti solo per conseguire un obiettivo settoriale, può far peggiorare quella stessa realtà sistemica (ad esempio territoriale).

E' proprio per questi motivi che le metodologie matematiche avanzate e l'informatica può venire in aiuto ai decisori fornendo i mezzi per poter scegliere, nel modo migliore, tra "un'infinità" di scelte che un essere umano, seppur esperto, non potrebbe mai considerare in toto perché richiederebbero anni di analisi, se non tutta la vita, a dispetto di pochi secondi di computazione macchina.

2.1 I DSS (Decision Support System)

Nell'ambito della gestione di risorse e servizi negli ultimi anni si è assistito ad un progressivo sviluppo dei sistemi di supporto alle decisioni, applicati a diversi ambiti della gestione, come ad esempio la mappatura dei crimini su un territorio, lo studio della crescita demografica di un territorio, il contrasto di incendi boschivi, la gestione delle risorse idriche, energetiche, di sistemi e processi logistici, di risorse della difesa, ecc.

Un *processo decisionale* è una successione di attività elementari che hanno luogo nel momento in cui un individuo o un'organizzazione prende una decisione. Ogni attività produce dei risultati che alimentano le attività successive.

I processi decisionali possono essere svariati e possono dipendere dai soggetti coinvolti o dall'ambito nel quale sono avviati.

Si è soliti riconoscere tre paradigmi decisionali. Il primo è quello razionale che mira ad una massimizzazione del valore atteso in termini di introito, minimizzazione di costi, rischi, ecc. Il secondo paradigma si basa sull'uso di euristiche piuttosto che di tecniche di ottimizzazione, tipiche della ricerca operativa, per raggiungere il massimo rendimento conseguibile con una determinata scelta. Il terzo paradigma scompone il processo decisionale in una serie di confronti successivi fino ad arrivare ad una alternativa ottimale. Ovviamente tutti e tre i paradigmi per poter funzionare necessitano di una grosse mole di informazioni che possa consentire al sistema di poter elaborare quante più alternative avendo un quadro quanto più possibile preciso della situazione in cui ci si trova ad attuare la decisione. Per questo ci si affida a sistemi di memorizzazione: database (o data warehouse), aggregazione dati, sistemi di rappresentazione, profili e così via.

Un DSS (Decision Support System) è un sistema software di supporto ai processi decisionali, cioè fornisce supporto a coloro che devono prendere decisioni strategiche in contesti particolarmente complessi per i

quali l'essere umano potrebbe avere difficoltà a stabilire quale sia la scelta più giusta da intraprendere, o meglio ancora quale sia la strategia decisionale da porre in essere per raggiungere un determinato obiettivo.

Questo tipo di sistemi differisce molto dai sistemi classici di trattamento delle informazioni perché richiede che il sistema e il decision maker, cioè l'utente che deve prendere la decisione, siano in perfetta simbiosi. Ciò significa che il decisore deve conoscere esattamente cosa il DSS può fare per lui e gli sviluppatori devono sapere esattamente come utilizzare ed integrare la tecnologia al servizio del processo di decisione. Nel processo decisionale, quindi, il DSS è il più vicino al decision maker e alla decisione vera e propria e per arrivare al risultato finale atteso dal decisore deve inglobare due componenti: EDP e MIS.

L'EDP (*Electronic Data Processing*) è il sistema che processa i dati e che da questi estrapola le informazioni necessarie al DSS affinché possa giungere ad una conclusione vicina a ciò che il decision maker si attende; il MIS (*Management Information Systems*) prende in input le informazioni dall'EDP e si occupa di elaborare tali informazioni al fine di fornire in output le possibili scelte o le opzioni possibili nella presa della decisione. Quindi un DSS utilizza queste due componenti in modo simbiotico per estrapolare una possibile decisione assieme al contributo del decision maker. I DSS, infatti, non operano come i sistemi classici, diffusi nell'ambito della ricerca operativa, che cercano di fornire in output una soluzione ottima che massimizzi la funzione obiettivo richiesta e quindi una risposta definitiva al problema. Questi sistemi combinano modelli o tecniche analitiche tradizionali, come la teoria dei giochi, con funzioni di elaborazione dei dati, facendo sì, attraverso un'elevata interattività, da supportare il decisore nel processo decisionale anche se esso non è né un matematico né un utente esperto di calcolatori.

Nell'ambito di studio dei DSS si è soliti rappresentare il processo decisionale con il modello proposto da H. Simon negli anni '60 del secolo scorso, ma ritenuto ancora oggi una delle colonne portanti del processo decisionale. Tale modello suddivide il processo in 3 fasi principali e da ognuna delle quali è possibile tornare alle precedenti.

- *Intelligence*: è la fase in cui si raccolgono informazioni sia dall'ambiente esterno che interno per individuare e circoscrivere un problema da affrontare.
- *Design*: questa fase consiste nel comprendere il problema, generare soluzioni possibili ed analizzarle. E' in questa fase che intervengono le capacità e l'esperienza del decisore, nonché la sua creatività, soprattutto nel generare le alternative.
- *Choice*: in questa fase si procede alla valutazione e quindi alla scelta delle alternative formulate nella fase precedente. Si definiscono a tal fine dei parametri e degli indicatori che permettano di fare sia confronti fra i piani d'azione che previsioni su quali saranno le conseguenze delle scelte.

Generalmente al processo decisionale seguono le seguenti fasi:

- implementazione della decisione;
- controllo e monitoraggio dei risultati ottenuti.

2.1.1 Classificazione dei DSS

A partire dalle fasi viste nel paragrafo precedente si possono individuare le tre categorie seguenti.

1. *DSS data oriented*. La loro operatività si basa sul trattamento dei dati contenuti nei database, detta anche base di conoscenza (sistemi di knowledge management), ed hanno lo scopo di analizzare il problema, ricercare e consigliare una possibile soluzione e controllare successivamente i risultati ottenuti sulla base delle decisioni prese.

In poche parole, per assistere il processo decisionale raccolgono i dati necessari e creano correlazioni tra di loro secondo precisi criteri che consentono di estrapolare le informazioni utili al decisore nel prendere la decisione. Il decision maker può, attraverso questo tipo di sistemi, ricercare autonomamente le informazioni di cui ha bisogno, con la possibilità di raffinare il processo di ricerca in corso d'opera ottenendo informazioni sempre più complete in conseguenza di un'acquisizione maggiore delle stesse.

I DSS data oriented possono, a loro volta, essere distinti in:

- *DSS data retrieval*, attraverso i quali chi interroga il database accede ad una o più informazioni, fornite separatamente senza alcuna elaborazione di correlazione;
 - *DSS data analysis*, che producono le informazioni richieste attraverso la ricerca e la successiva correlazione di più informazioni prelevate da uno o più database.
2. *DSS model oriented*. Tramite questo tipo di DSS è possibile simulare le possibili soluzioni al problema, in modo da stabilire quale sia la soluzione migliore. Questi DSS hanno lo scopo di riprodurre, in senso logico-matematico mediante un calcolatore, il modello di decisioni assunte in una determinata situazione di responsabilità del decisore, effettuando una serie di analisi variabili che mirano a valutare la situazione modificando sia la decisione da prendere, sia lo scenario in cui essa deve essere presa.
 3. *DSS esperti, ossia basati "sull'intelligenza artificiale" e/o sulla teoria della complessità*. Questi DSS cercano di sostituirsi al decisore esperto, emulandone i comportamenti. L'intelligenza artificiale consiste nell'introduzione nella memoria (database) sia dei fatti, degli elementi, relativi ad un certo fenomeno, sia delle regole relative a ciò che normalmente intendiamo per conoscenza di un determinato fenomeno.

I sistemi che a questa base di conoscenza affiancano una logica per ricercare la soluzione più valida al problema in esame, ad esempio utilizzando la teoria della complessità, vengono tecnicamente chiamati "sistemi esperti".

2.2 Utilità e scopi di un DSS

Nel processo decisionale si ha a che fare con varie tipologie di decisione che possono essere classificate in 3 topologie.

- *Decisioni strutturate* – sono decisioni per le quali è possibile giungere ad una soluzione mediante un algoritmo, ossia una serie di regole deterministiche e ben definite; è per questo motivo che tali decisioni sono anche dette programmabili.
- *Decisioni non strutturate* – in contrapposizione alla tipologia precedente, questo tipo di decisioni non ha una procedura decisionale prestabilita e, di conseguenza, vengono dette non programmabili.
- *Decisioni semi-strutturate* – sono decisioni che hanno una struttura mista, cioè presentano contemporaneamente caratteristiche delle due tipologie viste finora.

Risulta ovvio da tale classificazione che i DSS, come nel nostro caso, servano a supportare il decisore in quei problemi in cui i dati e le informazioni da tenere in considerazione sono difficili da mettere in correlazione per giungere ad una soluzione ottimale. Per questo motivo i DSS si progettano per supportare decisioni semi-strutturate o non strutturate mentre per la terza tipologia, come già detto, basta un algoritmo.

Lo scopo dei DSS, invece, non è quello di trovare un algoritmo risolutivo per poi automatizzarlo (anche perché così facendo si risolverebbero solo problemi ben definiti) ma di dare un supporto ai processi decisionali non strutturati tramite un continuo dialogo con il decisore e tramite il continuo aggiornamento della conoscenza del sistema.

2.2.1 Componenti di un DSS

Il tipo di software predominante è quello costituito da *pacchetti di routine*. Le routine possono essere algoritmi di ottimizzazione, euristiche, sistemi esperti o quanto altro sia a disposizione.

Per favorire l'accesso trasparente è necessario un *linguaggio di programmazione di alto livello*. Infatti, tramite un tale linguaggio, selezionando una parola chiave, non viene chiamata la procedura, ma formulato un quesito. E' poi il sistema che interpreta il quesito ed, eventualmente ponendo ulteriori quesiti, individua la routine ad hoc. A tal fine sempre più, oggi, con lo sviluppo della *intelligenza artificiale* si cerca da un lato di sviluppare meta linguaggi naturali che rendano semplice la formulazione dei quesiti e dall'altro di sintetizzare nel sistema una "intelligenza". Sono state sviluppate nell'ultimo decennio delle *regole comportamentali* del sistema, ossia dei ragionamenti di tipo standard generali che gli consentano un dialogo adeguato al processo decisionale dell'utente.

Altri componenti che stanno diventando fondamentali sono l'*interfaccia grafica* e la *multimedialità* del sistema. Per la prima è chiaro che operare scelte su un supporto grafico che visualizza dati e diagrammi è molto più semplice che leggere tabulati di dati e scrivere comandi. Il *DGMS (Dialog Generation Management Software)* è il software che realizza l'interfaccia utente; definisce, quindi, il tipo di interazione con esso. Determina le richieste che l'utente può fare, quali risposte può ottenere e in che modo; inoltre lo guida nell'uso del DSS. Questa parte del sistema software è fondamentale per il successo di un DSS, poiché l'utente è fortemente interessato alle capacità di comunicazione del sistema e a come si fornisce l'interazione uomo – macchina oltre che alle sue capacità di elaborazione. Per la seconda si può parlare ormai della possibilità di dialogare con il computer tramite voce o comandi touch screen.

Un altro componente, non meno importante, è la *base dati*. Essa contiene dati e informazioni che, direttamente o indirettamente, interessano l'utente. Con dati insufficienti non si può operare una scelta decisionale efficiente. In genere, però, si è interessati solo ad alcuni tipi di dati, a certe opportune aggregazioni, non a tutti o almeno non ad ogni dettaglio (ragionamento in condizioni di informazioni incomplete). Un DSS deve quindi avere una base dati indipendente rispetto alle basi dati gestionali e spesso integrata con informazioni esterne. I modelli di database che si possono utilizzare sono quelli *relazionali, gerarchici, a rete, a regole*. Il modello a rete sta diventando prevalente grazie anche alla capacità di supportare gli altri modelli e alla integrazione di reti di calcolatori. In questo caso la delocalizzazione dei dati riduce i costi di gestione con una minima perdita di efficienza dovuta ai tempi di accesso più lenti. Il *DBMS (Data Base Management Software)* è il software che permette di definire schematicamente l'organizzazione dei dati, memorizzarli, modificarli e gestirli, permettendo una interrogazione semplice della base dati.

Infine, un componente fondamentale del DSS è il *modellatore*. Esso rappresenta l'insieme delle regole matematiche per il trattamento delle informazioni ed ha il compito di generare il problema, ossia il sistema che si vuole migliorare. Tale attività viene realizzata grazie alla base dati ed agli ulteriori input da parte dell'utente. Il modello verrà poi utilizzato dalle routine per la scelta diretta del decision maker o per la scelta del sistema in risposta ad un quesito dell'utente.

Dal punto di vista dell'architettura tecnologica si possono identificare 3 livelli di base.

Il livello 1° dell'architettura è costituito dai sistemi informativi "alimentanti" di tipo operativo che possono essere sistemi integrati di tipo *ERP* o *non ERP* (Enterprise Resource Planning), correnti o storici, sistemi dedicati al Customer Support o varie applicazioni delle tecnologie Web (eCommerce, Portali, eSupply Chain, ecc.).

Tra il livello 1° e 2° si trovano alcuni strumenti software specialistici dedicati alla mappatura, pulizia e trasferimento dei dati elementari nelle basi dati fisiche del 2° livello. Quest'ultimo rappresenta il livello delle basi dati direzionali, realizzate con approcci logici di *Datawarehousing* o di *Datamarting* e alimentate anche dai dati di ambiente esterno all'ente: queste basi dati direzionali "disaccoppiano" l'ambiente operativo e transazionale dall'ambiente del controllo, delle analisi e delle decisioni manageriali soprastante, e integrano molteplici fonti di dati. A questo livello i dati direzionali possono essere archiviati sia con le tecnologie dei database relazionali, sia con le tecnologie dei database multidimensionali che consentono

analisi specifiche di tipo *OLAP* (On-Line Analytical Processing), nonché di ottenere coerenti prestazioni tecniche nell'analisi e nella navigazione interattiva dei dati finalizzate al supporto decisionale.

Queste basi dati alimentano a loro volta il livello 3° dell'architettura.

Questo è il livello dei sistemi di Bi (Business Intelligence), costituiti da svariate tipologie di strumenti software, pacchetti applicativi (analytic applications, Decision Support System), e software tools (Executive Information System toolkit, analisi multidimensionale, reporting).

3 Una soluzione avanzata di DSS per il progetto di Interesse

3.1 *Introduzione alla Soluzione ed Iperspazi di Decisione*

Per la risoluzione di un qualsiasi problema, sia esso reale o teorico, senza alcun dubbio l'approccio corretto, che porta ad una soluzione accettabile o ottima (ammesso che ce ne sia una), è tale da utilizzare una formulazione matematica del problema stesso. Ovviamente per problemi semplici e di natura quotidiana, la matematica basilare è più che sufficiente. Ma per problemi di comando, controllo, analisi e decisione in condizioni di complessità notevole, è necessario un sostanziale background di conoscenze in termini di analisi matematica, calcolo avanzato e teoria della complessità.

In questa sezione analizziamo il sistema SACS (Sistema Avanzato di Controllo, Supervisione e Sviluppo del Territorio), che è una specifica implementazione dell'autore come base di partenza per la realizzazione di un motore computazionale (engine), quale risposta di ricerca al problema in studio in questa ricerca.

Tale sistema è un avanzato sistema di supporto alle decisioni che differenzia dei tradizionali DSS (Decision Support System) non suggerisce semplicemente una decisione, ma fornisce una strategia decisionale, ovvero una sequenza di decisioni che permettono di raggiungere un prefissato obiettivo per il Governo, il Controllo, lo Sviluppo e la Sicurezza Avanzata di una ICN (Infrastruttura Critica Nazionale). Il SACS oltre ad avere un potente motore decisionale, che esprime la sua capacità attraverso il suggerimento di una strategia decisionale ottima rispetto alle scelte dell'utente ovvero dell'Organo di Governance, contiene al suo interno anche un set significativo di strategie gestionali ed operative. Grazie, quindi alla pila concettuale "decidere-gestire-operare", il sistema progettato fornisce all'organo di governo del territorio un potente strumento di supporto non solo decisionale, ma anche gestionale ed operativo.

Da un punto di vista metodologico al fine di individuare le strategie da porre in essere ed analizzare in modo organico la molteplice e variegata complessità dei parametri in gioco è necessario effettuare un'analisi in almeno tre iper-dimensioni distinte: i) iper-dimensione fisica; ii) iper-dimensione logica; iii) iper-dimensione funzionale.

In tale scenario le iperdimensioni si caratterizzano con uno spazio a più dimensioni dove ad ogni dimensione è associato un parametro caratteristico. Nel caso specifico della iperdimensione fisica ad essa può associarsi uno spazio a più dimensioni dove le singole dimensioni sono ad esempio il luogo, il tempo, l'estensione del fenomeno ed altri parametri di tipo strutturale come ad esempio l'orografia del territorio etc. Questa prima iperdimensione ha la funzione di georeferenziare il fenomeno individuando i fulcri per eventuali attività di network analysis.

La seconda iperdimensione è rappresentata anch'essa da uno spazio a più dimensioni dove le dimensioni, in questo caso, riguardano parametri che tengono conto di condizioni legate ad esempio a fattori storico-culturali, background economico-finanziario, fine politico, grado di interesse della infrastruttura, impatto territoriale, ecc.

La terza iperdimensione è, invece, rappresentata da uno spazio che analizza aspetti che mirano a costruire un quadro del modus operandi; in particolare, le diverse dimensioni dello spazio rappresentativo sono legate all'organizzazione funzionale, alle modalità con cui si utilizza l'infrastruttura, alle modalità che riguardano le scelte degli obiettivi sensibili ed al rapporto costi/benefici relativamente alla massimizzazione dell'azione di impiego ed al suo suo ed impatto sociale.

Definiamo allora iperspazio lo spazio n-dimensionale strutturato le cui dimensioni sono rappresentate dalle tre precedenti iperdimensioni (vedi Figura 1).

Una tale analisi ha il vantaggio di poter avere una rappresentazione matematica che permette di effettuare valutazioni sia di tipo qualitativo, come accade con altri approcci, ma anche in più possiede un notevole potere espressivo da un punto di vista quantitativo. Infatti, se associamo ad ognuno dei parametri in gioco, rappresentato da una specifica dimensione del nostro iperspazio, un valore numerico x che assume i valori tra 0 ed 1, ovvero se $x \in [0,1] \subset \mathfrak{R}$, saremo in grado di effettuare stime quantitative del fenomeno in studio individuando così quali possono essere le migliori azioni di prevenzione e contrasto.

Inoltre, un tale metodo, che matematicamente rientra nei cosiddetti processi di fuzzificazione, ovvero quei processi che rimappano i valori possibili di una data grandezza in un intervallo $(0,1)$, ha il vantaggio che se si associa al valore zero l'evento impossibile ed al valore uno l'evento certo avremo che un dato evento di probabilità intermedia avrà una possibilità P di incidere data proprio dal valore percentuale assunto $x \in (0,1)$. A tal punto per l'analisi di un dato fenomeno potranno utilizzarsi i classici strumenti della probabilità e della statistica inferenziale attraverso l'uso, ad esempio, di probabilità composte o condizionate per descrivere fenomeni o attività complesse ovvero si potranno utilizzare metodologie matematiche innovative nate proprio per descrivere fenomeni complessi, stocastici e autosimilari come ad esempio i frattali, i processi dinamici stocastici autosimilari, le catene di Markov, l'analisi multiscala e multi-risoluzione.

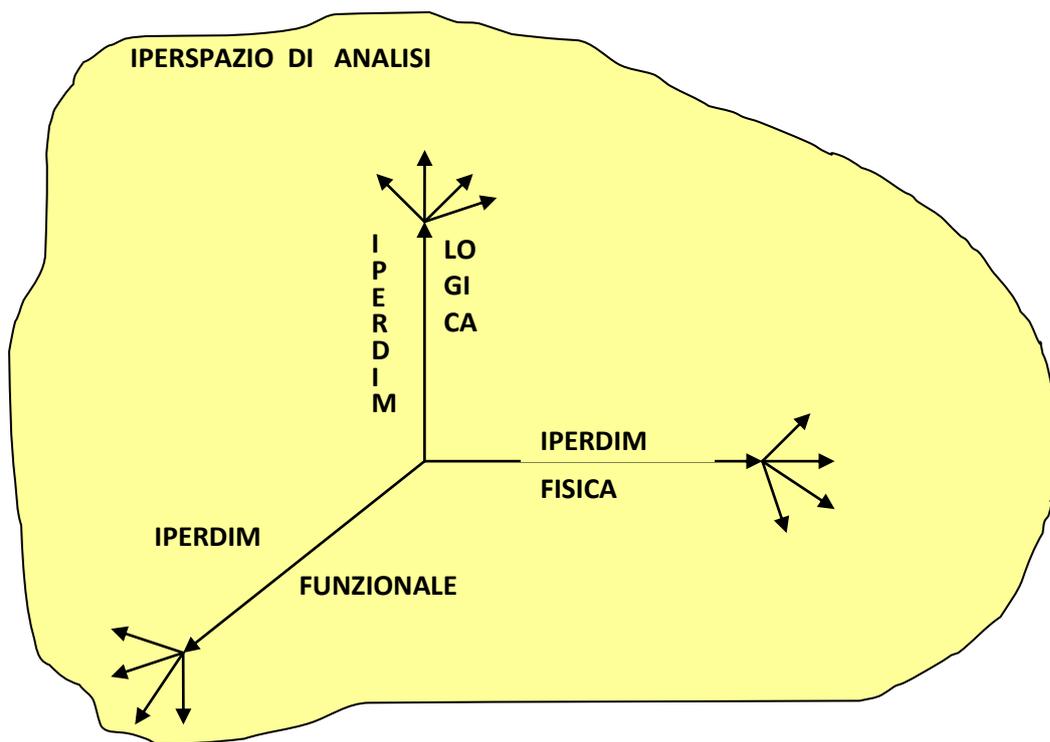


Figura 1. Esempio di iperspazio di analisi ed iperdimensioni

In questo approccio un dato evento diventa un punto a cui è associato un set di proprietà e probabilità in questo spazio a più dimensioni (l'iperspazio), che è sia uno spazio degli stati che uno spazio degli eventi. Viceversa un dato fenomeno sarà matematicamente rappresentato dall'insieme di transizioni da uno stato ad un altro. L'analisi dei parametri legati a stati successivi da un punto di vista metodologico permetterà di effettuare sia analisi di contesto e di scenario (approccio deduttivo) che analisi di tipo previsionale (approccio induttivo – esperienziale simulato).

È facile comprendere che una tale metodologia ha il suo focus sull'evento e sulla sua dinamica; pertanto, da un punto di vista informatico esso trova subito una similarità con le tecniche di programmazione, cosiddette object oriented. Grazie agli strumenti innovativi dell'ICT si potranno implementare le metodologie matematiche suddette, realizzando tool ad hoc per l'analisi e la previsione all'interno di una infrastruttura informatica innovativa e specialistica per l'attività di intelligence.

È evidente quindi come un approccio siffatto sia più efficace da un punto descrittivo e predittivo e permetta di individuare azioni di contrasto più efficienti rispetto ad analisi del fenomeno terrorismo di tipo più tradizionale, in cui si analizzano aspetti come le forme (ovvero terrorismo nazionalista e independentista o estremista o internazionale), o come le manifestazioni (ovvero contro i beni o le persone), etc."

Da ciò e da quanto detto relativamente al modello risulta chiara la necessità di una quantificazione o metrizzazione del modello, che come vedremo nel seguito permetterà di effettuare stime.

Gli obiettivi da perseguire saranno allora i seguenti:

1. La conoscenza dello stato del territorio e dei fenomeni che su essi sono attivi;
2. La completezza e quindi l'affidabilità dell'informazione acquisita attraverso la georeferenziazione dell'informazione e la localizzazione temporale degli eventi;
3. La capacità di associare e contestualizzare eventi all'interno di scenari classificabili, che permettano di offrire all'organo di governance un supporto all'individuazione di:
 - a) Strategie Decisionali (SD);

- b) Strategie Gestionali (SG);
- c) Strategie Operative (SO).

Quindi da un punto di vista decisionale il sistema avrà un flusso informativo come quello qui di seguito riportato nella figura 4.2. In altre, parole il DSS realizza la seguente Pila concettuale a tre livelli gerarchici:

- Individuazione dei CSF (Critical Success Factor),
- Scelta della Strategia Decisionale per il DSS,
- Computazione di DSS.

Successivamente i risultati del DSS, ovvero quelli in forma simbolica, vengono trasformati in strategie gestionali, ovvero codificati in linguaggio naturale accessibile a tutti e semplice da interpretare al fine di porre in essere le strategie di interesse.

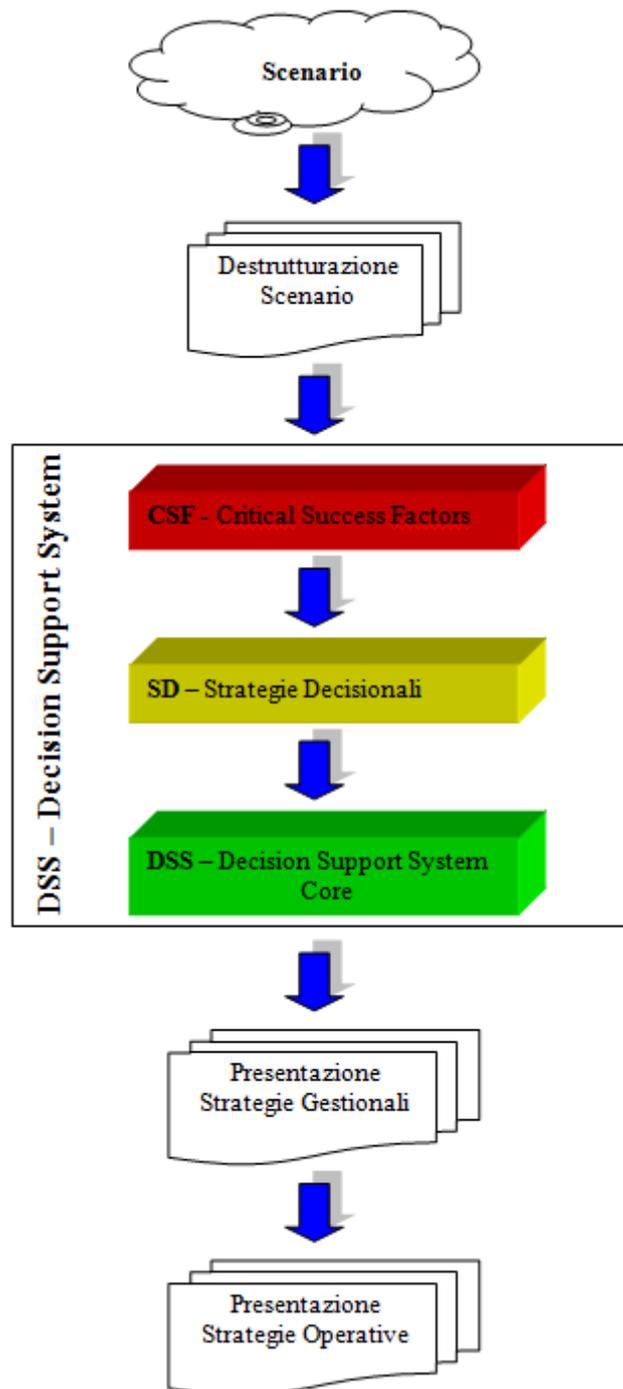


Figura 2. DSS ed Input/Output ad esso relativo

4 L' Engine

4.1 Scenario ed Indici caratteristici

In generale ad uno stato macroscopico possono corrispondere più stati microscopici.

Come vedremo introducendo due variabili di stato quali l'energia interna E di un sistema territoriale e l'entropia S , ad una coppia prefissata (S,E) corrisponderanno più stati del sistema in una data localizzazione individuati da una serie di indici caratteristici.

Al fine di realizzare lo scopo nell'engine che presentiamo vengono introdotti i seguenti sette indici e vengono definite ed implementate diverse Funzioni Obiettivo.

Gli indici da considerare per il Monitoraggio ed il Governo del territorio sono:

- X_1 – Indice Demografico;
- X_2 – Indice Ambientale;
- X_3 – Indice Economico;
- X_4 – Indice Organizzativo;
- X_5 – Indice Politico;
- X_6 – Indice Psicologico;
- X_7 – Indice Etico.

Il modello qui proposto permette di avere un quadro molto profondo degli accadimenti territoriali ed estremamente utile per l'interpretazione degli eventi stessi. Esso è stato costruito proprio con lo specifico obiettivo di realizzare una piattaforma che possa offrire al decisore o all'Organo di Governance uno strumento di Analisi del Territorio che permetta di definire delle Strategie Decisionali, Gestionali ed Operative basandosi su modelli matematici avanzati nati proprio per gestire la loro complessità.

Una tale analisi ha il vantaggio di poter avere una rappresentazione matematica che permette di effettuare valutazioni sia di tipo qualitativo, come accade con altri approcci, ma anche in più possiede un notevole potere espressivo da un punto di vista quantitativo.

Infatti, se associamo ad ognuno dei parametri in gioco, rappresentato da una specifica dimensione del nostro iperspazio, un valore numerico x saremo in grado di costruire eventi composti dai diversi indici su cui effettuare operazioni matematiche, effettuare attività di monitoraggio ed estrarre previsioni.

Gli indici potranno assumere sei valori distinti, ovvero $X_i = 0,1,2,3,4,5$ con $i=1,\dots,7$.

I valori assunti dagli indici avranno il seguente significato, ovvero forniranno i seguenti valori semantici di modellazione:

- 0 – non acquisito;
- 1 – basso;
- 2 – medio basso;
- 3 – medio o normale;
- 4 – medio alto;
- 5 – alto.

La n-pla $(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7,)$ rappresenta, puntualmente e ad un dato istante, lo stato del sistema in studio. Il valore 3 corrisponde ad un sistema equilibrato conservativo. I valori 2 e 4 rappresentano, invece, un sistema con alterazione e quindi con dissipazione energetica e con relativo aumento dell'entropia propria, il primo con trend implosivi (ovvero il 2) il secondo (ovvero il 4) con trend esplosivo. Infine, i valori 1 e 5 rappresentano sistemi caratterizzati da parametri lontani dall'equilibrio, fortemente anarmoci e dissipativi e quindi ad alta entropia, di cui il primo (ovvero l'1) prossimo all'implosione ed il secondo (ovvero il 5) prossimo all'esplosione. Lo zero indicherà la mancanza di informazione.

4.2 Funzioni Obiettivo

In generale, abbiamo già anticipato che gli obiettivi principali da perseguire sono i seguenti:

- 1) La conoscenza dello stato del territorio e dei fenomeni che su essi sono attivi;
- 2) La completezza e quindi l'affidabilità dell'informazione acquisita attraverso la georeferenziazione dell'informazione e la localizzazione temporale degli eventi;
- 3) La capacità di associare e contestualizzare eventi all'interno di scenari classificabili, che permettano di offrire all'organo di governance un supporto all'individuazione di:
 - 3.1) Strategie Decisionali (SD);
 - 3.2) Strategie Gestionali (SG);
 - 3.3) Strategie Operative (SO).

Il raggiungimento dello scopo del monitoraggio di alterazioni territoriali si ottiene grazie ad una funzione vettoriale a valori vettoriali, ovvero una funzione di 10 variabile reali (input) che restituisce un vettore reale a sette componenti (output). I dieci input sono il tempo, la latitudine, la longitudine ed i sette indici caratteristici, mentre i sette output sono il tempo, la latitudine, la longitudine, l'energia associata allo stato, l'entropia associata allo stato, lo scenario risultante, la completezza informativa; in forma semplificata possiamo dire che l'energia è la somma dei valori assunti dai diversi indici, mentre l'entropia è la somma delle differenze degli indici dalla mediana calcolata sul microstato considerato; inoltre, lo scenario risultante fornisce un'informazione circa lo stato di appartenenza di un microstato ad un dato scenario, mentre la completezza informativa fornisce informazioni circa il numero o la percentuale di indici che di volta in volta possono essere assegnati per la descrizione dello stato (microstato) di un sistema territoriale. A partire da tale funzione obiettivo, come si vedrà in seguito, saranno costruite tre altre funzioni obiettivo più complesse come qui di seguito riportate:

- Funzione Obiettivo per la costruzione di Strategie Decisionali Ottime, FOTS_SD;
- Funzione Obiettivo per la costruzione di Strategie Gestionali Ottime, FOTS_SG;
- Funzione Obiettivo per la costruzione di Strategie Operative Ottime, FOTS_SO.
-

La complessità di FOTS_SD, FOTS_SG, FOTS_SO è tale da richiedere specifiche sezioni successive a cui si rimanda per l'approfondimento.

4.3 Scenari e Stati: Rappresentazione e Classificazione Statistica

Nella sezione precedente abbiamo introdotto lo spazio degli scenari; qui di seguito riassumiamo le diverse categorie possibili per poi dettagliarle.

Da un punto di vista matematico il numero di scenari possibili è molto alto; infatti, tale numero è espresso in termini di disposizioni con ripetizione di lunghezza 7 degli elementi del set $\{1,2,3,4,5\}$ ed è pertanto dato da 5^7 diverse possibilità. Detto in altre parole il numero totale di scenari possibili è $78125=5^7$.

Ai fini dell'analisi è conveniente clusterizzare i 78125 scenari in classi aventi delle proprietà comuni. Qui di seguito presentiamo una clusterizzazione statistica al fine di effettuare un'analisi sulle deviazioni da stati fondamentali.

La clusterizzazione degli scenari in classi gioca un ruolo molto importante; infatti, la clusterizzazione in classi in questa fase modellistica permetterà nella fase di analisi di destrutturare l'informazione e quindi costruire modelli di supporto decisionale analitici ed automatici.

La tabella 1, riporta le diverse possibilità.

Scenario	Caratterizzazione Scenario
S7	Dei 7 indici tutti sono variabili
S6	Dei 7 indici 6 sono variabili ed 1 è fisso
S5	Dei 7 indici 5 sono variabili e 2 sono fissi
S4	Dei 7 indici 4 sono variabili e 3 sono fissi
S3	Dei 7 indici 3 sono variabili e 4 sono fissi
S2	Dei 7 indici 2 sono variabili e 5 sono fissi
S1	Dei 7 indici 1 è variabile e 6 sono fissi
S0	Dei 7 indici 1 è variabile e 6 sono fissi

Tabella 1. Caratteristiche degli scenari

E' interessante anticipare fin d'ora che esiste un legame tra i suddetti scenari e la tipologia di dinamica del sistema in studio.

Lo scenario S7 è idoneo a descrivere o un sistema di cui non vi è memoria nel senso che non esistono rilevazioni precedenti od un sistema a dinamica variabile, in cui in piccoli intervalli di tempo o di spazio ci si devono attendere stati diversi. Un tale scenario è, pertanto, uno scenario ad altissima variabilità sia da un punto di vista energetico che entropico. A priori è quindi uno scenario che può facilmente tendere ad essere caotico.

Lo scenario S6 mostra l'insorgenza di una permanenza, nel senso che abbiamo che uno dei sette indici non varia; ciò vuol dire che comincia a sorgere un ordinamento; in ogni caso la variabilità è molta alta e quindi avremo a che fare con sistemi ad alta entropia informazionale e tendenti al caos.

Lo scenario S5 mostra un maggiore radicamento di ordine rispetto ai casi precedenti; infatti abbiamo 2 indici fissi. In ogni caso due indici fissi sono a confronto con 5 variabili e pertanto domina la variabilità, l'instabilità ed il disordine rispetto all'ordine.

Nello scenario S4 troviamo una situazione leggermente scompensata verso il disordine; mentre in S3 ordine e disordine invertono il loro ruolo, nel senso che abbiamo a che fare con scenari che contengono stati con 4 indici fissi e 3 variabili. In altre parole, in S3 si ha a che fare con un sistema i cui stati sono più facilmente prevedibili; esso comincia a stabilizzarsi nel tempo ed assumere una specifica connotazione.

In S2 si trova una situazione in cui solo due indici sono variabili pertanto si ha a che fare con sistemi che esprimono una dinamica estremamente prevedibile ed ordinata.

Infine, lo scenario S1 è uno scenario ad una sola variabilità; gli stati in esso contenuti sono detti prossimi ad uno stato di immobilizzazione o congelamento.

S0 rappresenta uno scenario fondamentale, ovvero a minima variazione in cui il sistema tende a permanere nel suo stato (sistema congelato). Al di sotto di S0 troviamo l'immobilità, mentre al di sopra di S7 troviamo il caos.

Qui di seguito analizziamo S7.

4.4 Scenario S7

Lo scenario S7 puo' destrukturarsi in 13 sottoinsiemi di stati (o Subscenari). Essi si ottengono tenendo in considerazione la caratterizzazione. Per caratterizzazione intendiamo i diversi modi in cui si puo' ottenere la n-pla dei sette indici. Nello specifico distingueremo le seguenti 13 caratterizzazioni:

- S7_1. **7:** sette indici uguali;
- S7_2. **6+1:** sei indici uguali ed uno diverso;
- S7_3. **5+2:** cinque indici uguali, due diversi ed uguali tra loro;
- S7_4. **5+1+1:** cinque indici uguali e due diversi;
- S7_5. **4+3:** quattro indici assumono un valore e tre un altro;
- S7_6. **4+2+1:** quattro indici assumono un valore, due un altro ed uno un altro ancora;
- S7_7. **4+1+1+1:** cinque indici uguali e tre diversi;
- S7_8. **3+3+1:** tre indici assumono un valore, tre un altro ed uno un altro ancora;
- S7_9. **3+2+2:** tre indici assumono un valore, due un altro e due un altro ancora;
- S7_10. **3+2+1+1:** tre indici assumono un valore, due un altro, uno altro, uno un altro ancora;
- S7_11. **3+1+1+1+1:** tre indici uguali e quattro diversi;
- S7_12. **2+2+2+1:** due indici assumono un valore, due un altro, due altro, uno un altro ancora;
- S7_13. **2+2+1+1+1:** due indici assumono un valore, due un altro, tre sono diversi.

Per ognuno dei 13 subscenari S7_# riportiamo alcuni esempi di stati ammissibili:

- Esempi di S7_1 555555, 444444, ..., 111111;
- Esempi di S7_2 555551, 555552, ..., 555554, ..., 111112, ..., 111115;
- Esempi di S7_3 555511, 555522, ..., 555544, ..., 111122, ..., 111155;
- Esempi di S7_4 555512, ..., 555534, ..., 111123, ..., 111145;
- Esempi di S7_5 555111, ..., 555444, ..., 111222, ..., 111555;
- Esempi di S7_6 555112, ..., 555443, ..., 111223, ..., 111554;
- Esempi di S7_7 555123, ..., 555412, ..., 111234, ..., 111523;
- Esempi di S7_8 555112, ..., 555441, ..., 222113, ..., 222115;
- Esempi di S7_9 555112, ..., 555344, ..., 111223, ..., 111455;
- Esempi di S7_10 555112, ..., 555423, ..., 111223, ..., 111534;
- Esempi di S7_11 555123, ..., 111234;
- Esempi di S7_12 554433, ..., 331155;
- Esempi di S7_13 554412, ..., 221134.

Infine abbiamo diviso la superficie di occupazione piana in 9 aree come qui di seguito riportato:

- I. bassa entropia, bassa energia (colore blu);
- II. bassa entropia, media energia (colore celeste);
- III. bassa entropia, alta energia (colore verde);
- IV. media entropia, bassa energia (colore lilla);
- V. media entropia, media energia (colore bianco);
- VI. media entropia, alta energia (colore rosa);
- VII. alta entropia, bassa energia (colore giallo);
- VIII. alta entropia, media energia (colore arancione);
- IX. alta entropia, alta energia (colore rosso).



Figura 2. Suddivisione dello spazio degli Stati

Da un punto di vista dell'analisi è evidente che lo stato migliore è quello rappresentato dal colore verde, ovvero il III corrispondente al caso alta energia-bassa entropia. Cio' vuol dire che il sistema in esame ha una dinamica rapida che non crea disordine.

I due peggiori, per motivi diversi che descriveremo, sono, invece, il VII (colore giallo) ed il IX (colore rosso). L'area VII (colore giallo) descrive stati caratterizzati da una bassa energia ed un'alta entropia. Questo stato è il peggiore se l'obiettivo è quello di ricondurre il sistema ad una situazione di maggiore equilibrio. In altre parole, sarà necessario attendere un tempo lungo per riequilibrare il sistema il cui stato caratteristico cade nell'area gialla.

L'area IX (colore rosso) descrive gli stati caratterizzati da un'alta energia ed un'alta entropia. Si tratta quindi di sistemi caratterizzati da una dinamica ad alta velocità vicina al caos. Le istituzioni avranno, quindi, tempi di decisione molto bassi, ma se le decisioni adottate saranno corrette il sistema data l'alta energia potrà essere riequilibrato in tempi molto più brevi rispetto ai casi raccolti nell'area VII.

L'ultima area estrema è la I (colore blu) caratterizzata da una bassa energia ed una bassa entropia. Essendo bassa l'energia, i sistemi rappresentati da stati inclusi in scenari che ricadono in quest'area avranno una dinamica molto lenta che non crea disordine visto che l'entropia è molto bassa. Quest'area descrive tipicamente o piccoli centri urbani o centri medio-grandi con patologie dinamiche corrispondenti a stasi degli indici.

Oltre a tali aree più estremali dobbiamo considerare anche delle aree rappresentati scenari più ibridi. Tali aree sono l'area II (colore celeste), l'area IV (colore lilla), l'area VI (colore rosa), l'area VIII (colore arancione). Delle quattro aree ibride le migliori sono la II e la VI dove l'entropia ha sempre valori medi inferiori rispetto all'energia. Più svantaggiosi sono, invece, gli scenari e gli stati che ricadono nelle aree IV ed VIII dove c'è un'entropia più significativa rispetto all'energia del sistema. Nello specifico, l'area VIII fatta eccezione delle VII e IX è la peggiore in assoluto.

Infine, lo stato V (colore bianco) è caratterizzato da un completo equilibrio tra entropia ed energia che assume entrambe valori medi.

Come vedremo in seguito, le aree VII e IX sono aree non occupate da stati ammissibili, ovvero da stati in cui gli indici assumono valori in scala 1-5. L'area VII rappresenta, infatti, il caos a bassa energia, mentre la IX il caos ad alta energia.

La Figura 3 mostra i diversi subscenari $S7_{\#}$ indicati solo con # nel piano SE, ovvero al variare dell'Energia e dell'Entropia. Come si vede fissata la coppia (S,E) ad essa possono corrispondere uno o più subscenari.

		ENTROPIA												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENERGIA	7	1												
	8		2											
	9			2,3										
	10				2,4,5									
	11				5	2,3,4,6								
	12			3		8	4,6							
	13		2		6		8,9	3,4,5,6,7						
	14	1		4		6,9		8,10	4,6,7					
	15		2		4,6		6,9,10	5	9,10	3,6,7				
	16			2,3		4,7,8	6	9,10,12	8	10	5,6,7			
	17				2,4,5	3,6	6,7,10	10	10,12	8,9	8,9,11	6		
	18				4,5	3,4,6	6,10	7,10	10,12	9,13	8,10	10	6	
	19			2,3		7,8	4,6	6,9,10,12	6,8,11	10,13	5,12	9,10	10	5
	20		2		4,6		7,8,9,10	3,5,7	9,10,13	6,10	12,13	8,12	10	8
	21	1		4		4,6,9		8,10,11	6	9,12,13	10	13	9	8
	22		2		4,6		7,8,9,10	3,5,7	9,10,13	6,10	12,13	8,12	10	8
	23			2,3		7,8	4,6	6,9,10,12	6,8,11	10,13	5,12	9,10	10	5
	24				4,5	3,4,6	6,10	7,10	10,12	9,13	8,10	10	6	
	25				2,4,5	3,6	6,7,10	10	10,12	8,9	8,9,11	6		
	26			2,3		4,7,8	6	9,10,12	8	10	5,6,7			
	27		2		4,6		6,9,10	5	9,10	3,6,7				
28	1		4		6,9		8,10	4,6,7						
29		2		6		8,9	3,4,5,6,7							
30			3		8	4,6								
31				5	2,3,4,6									
32				2,4,5										
33			2,3											
34		2												
35	1													

Figura 3. Allocazione dei sub-scenari S7_# (indicati con la sola #)

Dalla Figura 3 si evince che alcuni stati macroscopici caratterizzati dalle coppie (S,E) non sono ammissibili e sono stati indicati in grigio. Nello specifico le aree VII e IX non presentano stati ammissibili al loro interno e pertanto sono da considerarsi già stati fuori dal controllo poiché caotici.

In relazione alla figura precedente qui di seguito, nella Figura 4, riportiamo il livello di degenerazione delle diverse coppie ordinate (E,S), da cui si evince come i livelli piu' degeneri si abbiano in corrispondenza dell'area centrale della figura, area V (colore bianco), seguita dall'area IV e VI, poi dalla II ed VII, ed infine dalla VII, dalla IX, dalla III e dalla I. per livello di degenerazione intendiamo la presenza di piu' subscenari per la stessa coppia (S,E).

		ENTROPIA												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENERGIA	7	1												
	8		1											
	9			1										
	10				3									
	11				1	4								
	12			1		1	2							
	13		1		1		2	5						
	14	1		1		2		2	3					
	15		1		2		3	1	2	3				
	16			2		3	1	3	1	1	3			
	17				3	2	3	1	2	2	3	1		
	18				2	3	2	2	2	2	2	1	1	
	19			2		2	2	4	3	2	2	2	1	1
	20		1		2		4	3	3	2	2	2	1	1
	21	1		1		3		3	1	3	1	1	1	1
	22		1		2		4	3	3	2	2	2	1	1
	23			2		2	2	4	3	2	2	2	1	1
	24				2	3	2	2	2	2	2	1	1	
	25				3	2	3	1	2	2	3	1		
	26			2		3	1	3	1	1	3			
	27		1		2		3	1	2	3				
	28	1		1		2		2	3					
	29		1		1		2	5						
	30			1		1	2							
	31				1	4								
	32				3									
	33			2										
	34		1											
	35	1												

Figura 4. Livello di degenerazione dei sub-scenari S7_#

La Figura 5 mostra il numero di stati microscopici, rappresentati da una n-pla a sette componenti, corrispondenti allo stesso stato macroscopico, rappresentato dalla coppia (S,E).

		ENTROPIA												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENERGIA	7	1												
	8		7											
	9			28										
	10				84									
	11				35	175								
	12			21		140	294							
	13		7		105		350	413						
	14	1		42		315		700	462					
	15		7		147		735	35	1050	441				
	16			28		392	105	1260	140	1260	350			
	17				84	126	735	420	1680	350	1190	210		
	18				77	168	525	1050	1050	1680	560	840	105	
	19			28		350	252	1365	1085	1680	1295	630	420	35
	20		7		147		980	266	2310	945	1890	770	420	140
	21	1		42		462		1820	420	2730	840	1260	420	140
	22		7		147		980	266	2310	945	1890	770	420	140
	23			28		350	252	1365	1085	1680	1295	630	420	35
	24				77	168	525	1050	1050	1680	560	840	105	
	25				84	126	735	420	1680	350	1190	210		
	26			28		392	105	1260	140	1260	350			
	27		7		147		735	35	1050	441				
	28	1		42		315		700	462					
	29		7		105		350	413						
	30			21		140	294							
	31				35	175								
	32				84									
	33			28										
	34		7											
	35	1												

Figura 5. Distribuzione degli stati nel piano SE

Infine, la Figura 6, rappresenta il numero di stati per ogni area.

485	5110	0
785	45780	20370
485	5110	0

Figura 6. Frequenza relativa delle varie Aree valutate in termini del numero di stati microscopici

Considerando che il numero totale di stati è 78125 possiamo esprimere i risultati della Figura 6, in termini di probabilità di occorrenza statistica (vedi Figura 7).

0,62	6,54	0
1,00	58,60	26,07
0,62	6,54	0

Figura 7. Probabilità espressa in % delle Aree valutate in termini del numero di stati microscopici

Qui di seguito riportiamo un quadro riassuntivo degli scenari. Tale sinottico riassume anche gli aspetti essenziali delle transizioni da uno scenario ad un altro in termini di energia ed entropia che useremo per la costruzione di strategie di Governance e gestionali.

In particolare, procedendo da sinistra verso destra aumenta l'entropia e quindi si passa da stati piu' ordinati a stati piu' disordinati. Procedendo dall'alto verso il basso si transisce da stati a bassa energia a stati a piu' alta energia.

Come anticipato il quadro complessivo risulta è il seguente:

- Blu:** stati a bassa energia dinamica ordinati;
- Celeste:** stati di media dinamica ordinati;
- Verde:** stati ad alta dinamica ordinati;
- Lilla:** stati a bassa dinamica mediamente ordinati;
- Bianco:** stati di media dinamica mediamente ordinati
- Rosa:** stati ad alta dinamica mediamente ordinati;
- Giallo:** stati a bassa dinamica altamente disordinati (caos freddo o caos a bassa energia);
- Arancione:** stati di media dinamica altamente disordinati;
- Rosso:** stati ad alta dinamica altamente disordinati (caos caldo o caos ad alta energia).

L'area blu quindi è un'area prossima ad un congelamento energetico-entropico, ovvero tratta sistemi dinamici prossimi alla stasi. Facendo un paragone con le stagioni è l'equivalente dell'Inverno. In questi casi sarà difficile, laborioso e time consuming per lo staff di Governance riportare il sistema in un'area di maggiore dinamica.

L'area Verde è invece relativa a stati altamente energetici ed ordinati. Rappresenta quindi un sistema in condizioni ottimali. Usando la metafora delle stagioni, la sua stagione equivalente è la Primavera.

L'area Rossa è relativa a stati altamente energetici e disordinati. Usando la metafora delle stagioni, la sua stagione equivalente è l'Estate. L'organo di Governance dovrà essere molto attento alle strategie poste in essere per portare il sistema ad una entropia inferiore, inoltre dovrà essere tempestivo, poiche' il sistema avendo alta energia avrà una risposta molto rapida. Esso è gia' caotico, ovvero ci sono parametri off-scale, ovvero il sistema è fuori dalla statistica di controllo descritta in S7.

L'area Gialla è caratterizzata da una bassa energia ed un alto disordine; riequilibrare un sistema rappresentato da uno stato di tale area è un lavoro molto gravoso e che richiede tempo e risorse da impiegare visto che l'energia è bassa; anche in questo caso abbiamo a che fare con stati caotici off-scale. Nella metafora delle stagioni l'area gialla è l'Autunno

Usando la metafora delle stagioni, le altre aree sono equivalenti ai campi di stagione e quindi hanno un comportamento ibrido a seconda della interposizione tra le quattro aree suddette. Fa eccezione l'area bianca che rappresenta situazioni neutre.

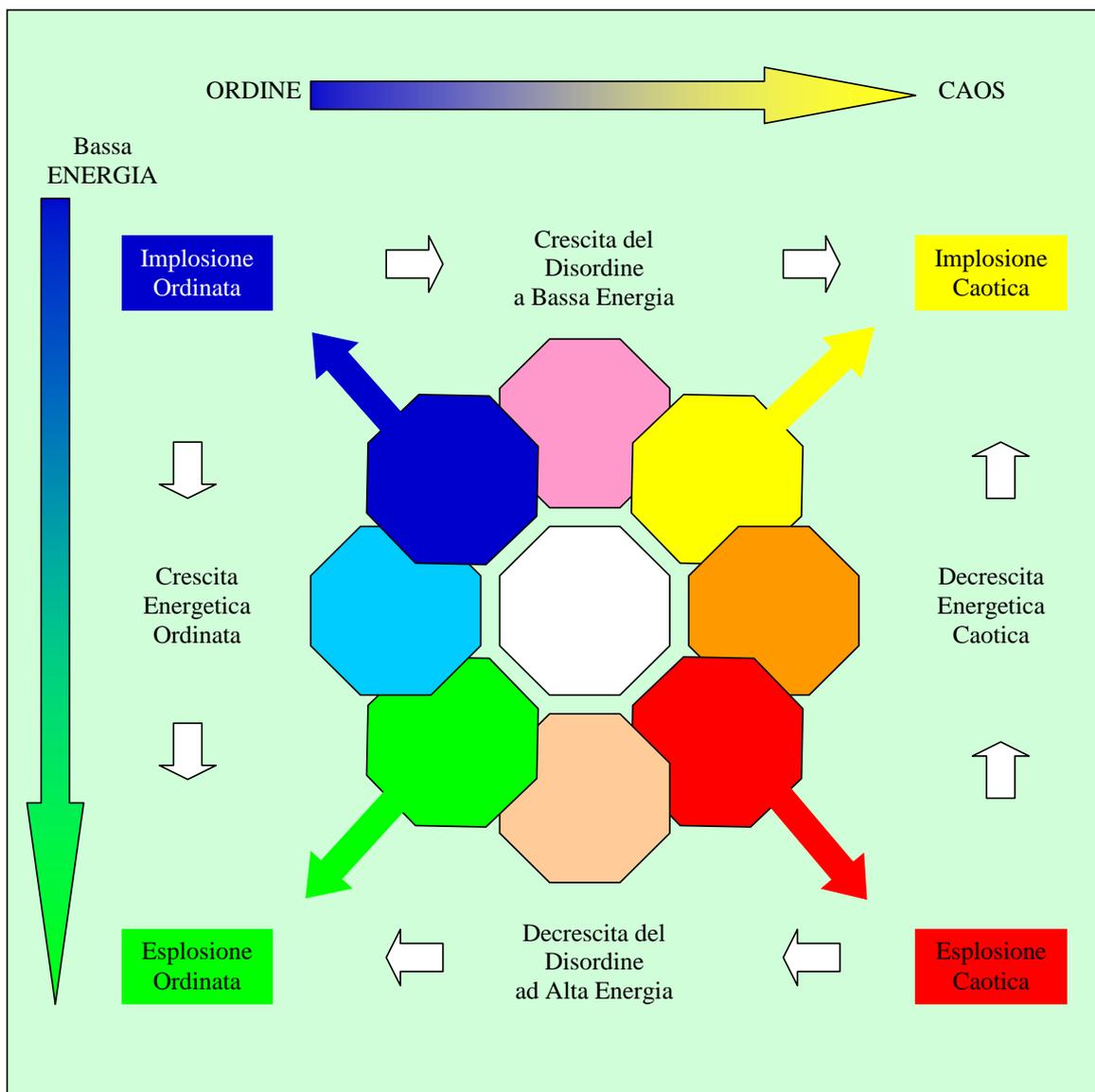


Figura 8. Quadro riepilogativo

4.5 Le Strategie Decisionali

Grazie all'analisi descritta nei precedenti paragrafi è possibile associare ad ogni stato, inteso come microstato caratterizzato dai 7 indici, un macrostato, ovvero uno stato caratterizzato dalla coppia di variabili di stato (S,E). Individuato il macro stato considerato, caratteristico dei luoghi fissati ad un dato tempo, lo scopo del Decision Support System (DSS) sarà quello di suggerire una Strategia Gestionale, ovvero una strategia operativa o di Governance, che indichi come condurre il macrostato considerato, ovvero lo stato del sistema per una particolare coppia (S,E) ad uno più vantaggioso. Si precisa, inoltre, che transizioni tra microstati all'interno di un macrostato non sono oggetto di questo modello. Esse, infatti, sarebbero trasformazioni equi-entropiche ed equi-energetiche, mentre l'obiettivo del DSS è di suggerire strategie che minimizzino (o riducano) l'entropia e massimizzino (o aumentino) l'energia interna.

Il risultato viene raggiunto per step successivi funzionali all'obiettivo finale. L'obiettivo finale è la cattura dello stato corrente da parte di uno dei 5 attrattori fondamentali. Tale obiettivo si può raggiungere utilizzando diversi algoritmi in corrispondenza di diverse strategie.

Ciò realizza proprio quanto anticipato in precedenza, ovvero il sistema realizza la seguente Pila concettuale a tre livelli gerarchici:

- Individuazione dei CSF (Critical Success Factor).
- Scelta della Strategia Decisionale per il DSS.
- Computazione di DSS.

Successivamente i risultati del DSS, ovvero quelli in forma simbolica, verranno trasformati in strategie gestionali, ovvero codificati in linguaggio naturale accessibile a tutti e semplice da interpretare al fine di porre in essere le strategie di interesse. Per tali aspetti si rimanda alla sezione successiva, mentre qui di seguito analizzeremo i diversi algoritmi, ovvero le diverse strategie decisionali, previste all'interno del DSS.

Gli algoritmi che analizzeremo hanno l'obiettivo di raggiungere uno dei cinque attrattori, ovvero di minimizzare l'entropia. Ciò può realizzarsi attraverso diverse strategie decisionali corrispondenti a diversi path da seguire nel piano SE.

L'obiettivo si realizza imponendo la minimizzazione dell'entropia fino a quando essa non risulti essere uguale a zero.

Essendoci 5 attrattori fondamentali esisteranno cinque direzioni privilegiate (dominanze globali). Di fatto, però, fissato un punto di coordinate (S,E) avremo otto direzioni possibili (dominanze locali) in relazione alla matrice tre per tre centrata sullo stato di interesse e denominata ottoconnesso (vedi Figura 9).

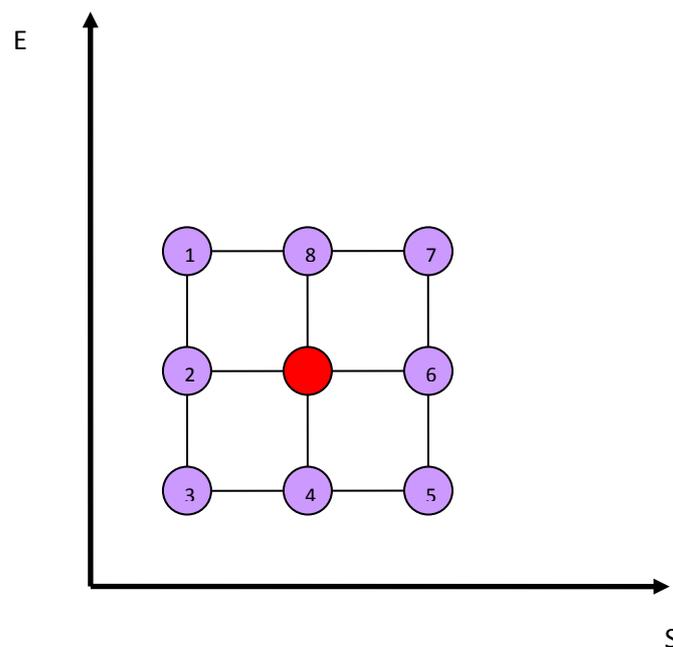


Figura 9. Ottoconnesso dello stato corrente (quello centrale colorato in rosso) nel piano SE con gli stati contigui (colorati in viola)

Relativamente alle diverse direzioni possiamo fare le seguenti riflessioni:

- La direzione 1 è la migliore in assoluto poiché induce uno spostamento verso uno stato ad entropia inferiore ed energia superiore;
- La direzione 2 può considerarsi una buona strategia e gerarchicamente subordinata alla precedente in termini di priorità poiché rispetto all'obiettivo finale induce uno spostamento verso uno stato ad entropia inferiore mantenendo costante l'energia del sistema; tale trasformazione è, quindi, isoenergetica con diminuzione dell'entropia.
- La direzione 3 può considerarsi una buona strategia e gerarchicamente subordinata alle precedenti in termini di priorità poiché rispetto all'obiettivo finale induce uno spostamento verso uno stato ad entropia inferiore conducendo però anche ad una diminuzione dell'energia del sistema;
- La direzione 4 può considerarsi una strategia locale transitoria e gerarchicamente subordinata alle precedenti in termini di priorità poiché è inefficace rispetto all'obiettivo finale dato che induce uno spostamento verso uno stato senza variazione di entropia conducendo però anche ad una diminuzione dell'energia del sistema; come vedremo essa però è da preferirsi alle direzioni 5,6,7 ed ha una valenza di pari rilevanza rispetto alla 8; tale trasformazione è anche detta isoentropica con riduzione di energia;
- La direzione 5 può considerarsi una strategia locale transitoria e gerarchicamente subordinata a tutte le altre in termini di priorità poiché è la peggiore in assoluto visto che produce un aumento dell'entropia ed una diminuzione dell'energia; talvolta per un singolo step può essere usata per uscire da una situazione di stallo, ovvero è l'unica direzione dove è possibile raggiungere uno stato contiguo, cioè a distanza minima;
- La direzione 6 è in generale anch'essa una cattiva strategia visto che è migliore solo rispetto alla 5; può considerarsi, quindi, una strategia locale transitoria e gerarchicamente subordinata a tutte le altre ad eccezione della 5; essa produce un aumento dell'entropia ad energia costante; anch'essa talvolta per un singolo step può essere usata per uscire da una situazione di stallo; tale trasformazione è isoenergetica con aumento di entropia;
- La direzione 7 è in generale anch'essa una cattiva strategia visto che è migliore solo rispetto alla 5 ed alla 6 essendo subordinata gerarchicamente alle altre in termini di priorità; può considerarsi, quindi, una strategia locale transitoria; essa produce un aumento dell'entropia e dell'energia; l'aumento dell'energia conduce comunque al raggiungimento di un obiettivo, che però è secondario rispetto alla minimizzazione dell'entropia ed è per tale motivo che la si considera una strategia transitoria; inoltre l'aumento di energia presuppone che l'organo di Governance sia pronto a prendere decisioni più rapidamente visto che un sistema a più alta energia ha una dinamica più veloce;
- La direzione 8 può considerarsi una strategia locale transitoria e gerarchicamente subordinata alla 1,2,3, mentre è da preferirsi rispetto alla 5,6,7; come la 4 conduce ad una transizione ad entropia costante, mentre però la 4 conduce ad una diminuzione dell'energia la 8 conduce ad un aumento energetico; relativamente all'aumento di energia valgono le considerazioni fatte per la direzione 7; tale trasformazione è isoentropica con aumento di energia.

4.5.1 Algoritmo DSS_1

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 1,2,3,8,4,7,6,5.

Pertanto, la prima priorità è una trasformazione che conduca ad uno stato con minore entropia e maggiore energia (direzione 1), qualora cio' non sia possibile poiche' non è permesso lo stato rappresentato dalla coppia (S-1, E+1), la seconda priorità è data da una trasformazione isoenergetica con riduzione dell'entropia (direzione 2); la terza priorità è data da una trasformazione che riduce l'entropia del sistema attraverso un raffreddamento dello stesso (direzione 3). Qualora nessuna delle tre precedenti trasformazioni è permessa vuol dire che nello stato in cui si trova il sistema non puo' transire nell'immediato in uno stato a minore entropia. Pertanto, la strategia globale tenta di uscire da una tale situazione di stallo attraverso una trasformazione isoentropica con aumento di energia (direzione 8). Qualora neppure la direzione 8 sia possibile, la strategia decisionale tenta ancora con un'opzione isoentropica, ma questa volta con riduzione dell'energia e relativo raffreddamento del sistema (direzione 4). Qualora non sia possibile neppure attuare una trasformazione isoentropica è indispensabile aumentare transitoriamente l'entropia. In questo caso il DSS prova ad attuare prima una strategia con aumento energetico (direzione 7); qualora cio' non sia permesso il sistema di decisione prevede una trasformazione isoenergetica con aumento dell'entropia (direzione 6); infine, qualora non sia permessa nessuna delle precedenti trasformazioni in ultima istanza il sistema di decisioni attua la strategia corrispondente alla direzione 5.

Nella sua globalità tale strategia decisionale tende a minimizzare l'entropia tentando di massimizzare l'energia. In ogni caso la dinamica è dominata dalla minimizzazione dell'entropia; detto in altre parole il sistema tenta sempre di ridurre prima l'entropia e tra le trasformazioni mesoentropiche possibile sceglie quelle a piu' alta energia. Da un punto di vista formale esistono tre livelli di decisione: i) le direzioni 1,2,3; ii) le direzioni 8,4; iii) le direzioni 7,6,5. Tale direzioni ordinate esattamente nell'ordine indicato realizzano una strategie decisionale globale che tra le trasformazioni mesoentropiche sia preferita quella a piu' alta energia. Ad esempio tra 1,2,3 viene preferita la 1, poi la due ed infine la 3; tra la 8 e la 4 viene preferita la 8 ed infine tra la 7,6,5 si prova in prima battuta la 7 ovvero quella a piu' alta energia delle tre, poi la mesoenergetica, ovvero la 6 ed infine la 5, che corrisponde a quella con riduzione energetica.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 10 mostra quanto descritto, dove con il verde vengono colorate le prime tre scelte, ovvero quelle corrispondenti a trasformazioni con riduzione dell'entropia, con il giallo le trasformazioni isoentropiche, mentre con l'arancione quelle con aumento di entropia. I numeri interni allo stato indicano lo stato stesso, mentre i numeri esterni il loro relativo ordinamento gerarchico.

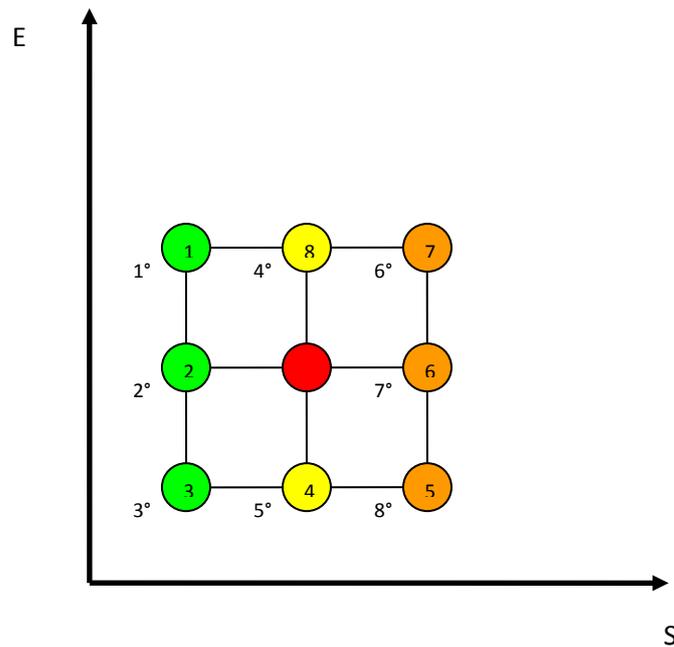


Figura 10. Algoritmo DSS_1 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Nella Figura 11 si riporta un microstato di esempio con le relative strategie decisionali globali proposte dal sistema utilizzando l'algoritmo DSS_1. Come si vede da tali figure il sistema tende a minimizzare l'entropia massimizzando in ogni step l'energia con il risultato globale di una minimizzazione dell'entropia ed un aumento dell'energia rispetto allo stato di partenza.

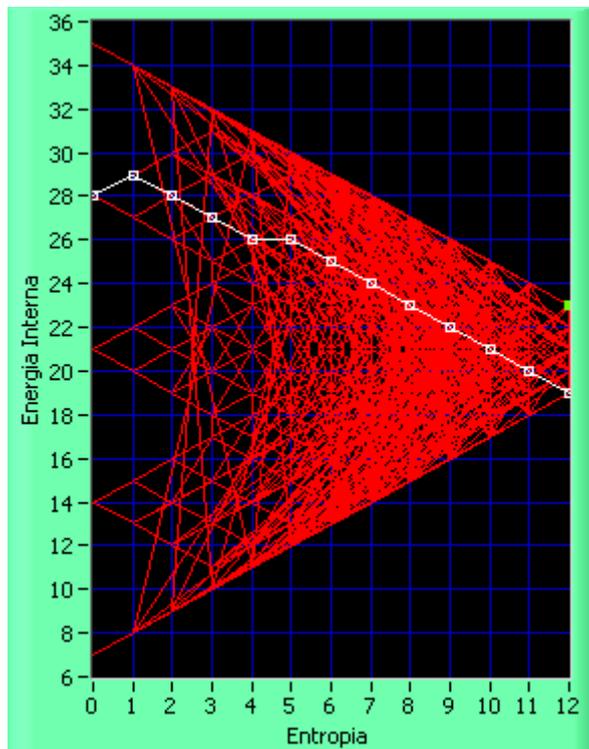


Figura 11. L'algoritmo usato è il DSS_1, lo stato di partenza è il Microstato 5551111 corrispondente al Macrostato (12,19), mentre quello di arrivo è l'attrattore (0,28)

4.5.2 Algoritmo DSS_2

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 1,2,3,4,8,5,6,7.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 12 mostra che il DSS_2 è simile al DSS_1 nel senso che il sistema tende a minimizzare l'entropia attraverso la priorità degli stati in verde; allorché, cioè non risulti possibile il sistema di decisione passa alle trasformazioni mesoentropiche (quelle in giallo), in questo caso però sceglie prima quella a minore energia – ovvero la 4 – e poi quella a maggiore energia – ovvero la 8. La stessa differenza rispetto al DSS_1 la troviamo relativamente alle trasformazioni con aumento di entropia in cui si parte dalla scelta a più bassa energia per arrivare a quella più alta. Una tale strategia decisionale globale, pertanto, è più conservativa rispetto alla precedente, nel senso che pur perseguendo l'obiettivo di minimizzare l'entropia, nel caso in cui ciò non si realizzi con le trasformazioni verso gli stati contrassegnati con il verde, si sceglie di procedere con trasformazioni o mesoentropiche o ad aumento di entropia, ma tentando di abbassare l'energia del sistema ovvero raffreddandolo.

Una tale strategia decisionale è consigliabile nei casi di stati di partenza ad alta energia, mentre è da escludersi nei casi di bassa energia, poiché ciò potrebbe portare al congelamento del sistema. Inoltre, la scelta di una strategia che tendenzialmente in situazioni non vantaggiose, ovvero quando non è possibile transire verso stati contrassegnati in verde, si opta per una strategia ad abbassamento energetico permette di porre in essere strategie di Governance a dinamica più lenta, fornendo ai decisori maggiore tempo per decidere il da farsi.

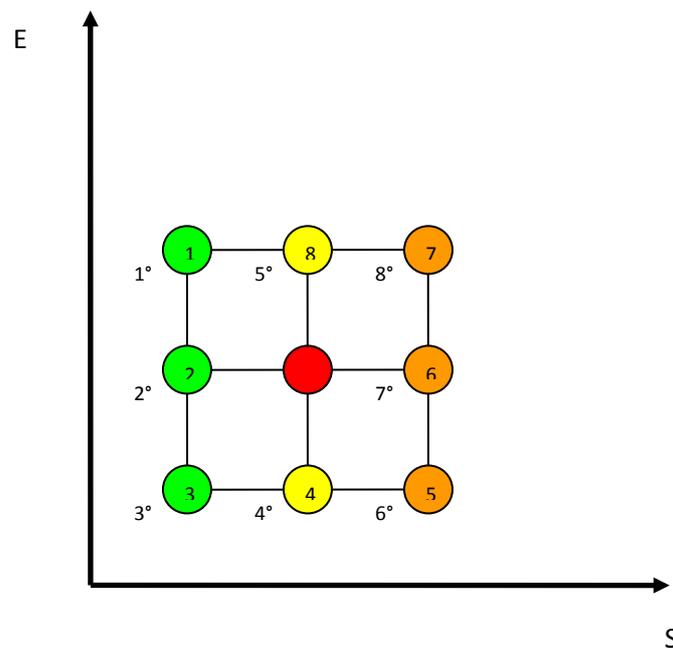


Figura 12. Algoritmo DSS_2 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

In questo caso non si riportano le figure come fatto per il DSS_1 poiché scegliendo quei microstati considerati le due strategie decisionali fornirebbero gli stessi risultati. Da ciò consegue che il sistema tende a minimizzare l'entropia massimizzando in ogni step l'energia, se stiamo considerando trasformazioni con abbassamento dell'entropia (colore verde), mentre abbassando l'energia se stiamo nel caso di trasformazioni corrispondenti ai colori in giallo o arancione. Il risultato globale è una minimizzazione dell'entropia ed un aumento dell'energia rispetto allo stato di partenza.

4.5.3 Algoritmo DSS_3

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 1,2,8,3,4,5,6,7.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 13 mostra il comportamento del DSS_3. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato in prima battuta massimizzando anche l'energia (vedi trasformazioni in verde), qualora cio' non sia possibile tenta di minimizzare l'entropia abbassando l'energia (trasformazioni in giallo); qualora neppure cio' risulti possibile, costretto transitoriamente a dover aumentare l'entropia (trasformazioni di colore arancione) attua cio' partendo dall'energia piu' bassa (trasformazione 5) fino ad arrivare a quella piu' alta (trasformazione 7).

Il sistema tende a minimizzare l'entropia massimizzando in ogni step l'energia piu' significativamente rispetto ai DSS precedenti se si considerano considerando trasformazioni con abbassamento dell'entropia od al piu' conservazione dell'entropia stessa. Il risultato globale è una minimizzazione dell'entropia ed un aumento dell'energia rispetto allo stato di partenza.

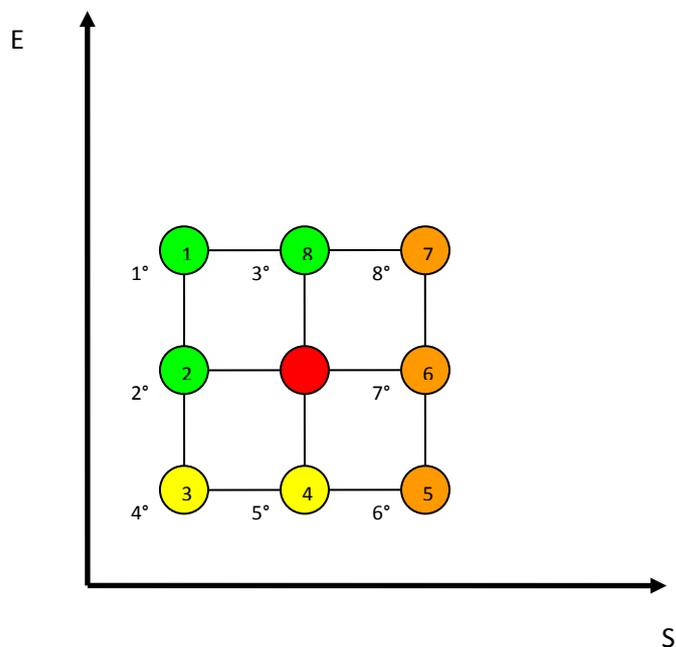


Figura 13. Algoritmo DSS_3 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

4.5.4 Algoritmo DSS_4

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 8,1,2,3,4,5,6,7.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 14 mostra il comportamento del DSS_4. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato in modo da aumentare in ogni step l'energia anche se cio' implica una trasformazione esoentropica (priorità della trasformazione 8).

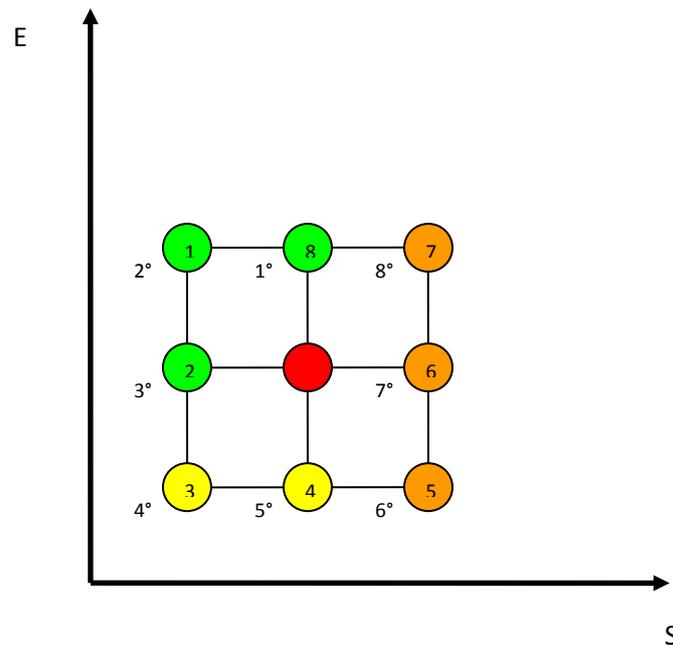


Figura 14. Algoritmo DSS_4 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step a massimizzare l'energia e poi a minimizzare l'entropia massimizzando in ogni step l'energia con il risultato globale di una minimizzazione dell'entropia ed un aumento dell'energia rispetto allo stato di partenza.

4.5.5 Algoritmo DSS_5

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 8,1,7,2,6,3,4,5.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 15 mostra il comportamento del DSS_5. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato massimizzando in ogni step innanzitutto l'energia anche a scapito di un aumento entropico (trasformazione 7). Quando non riesce ad aumentare l'energia tenta trasformazioni isoenergetiche, altrimenti ipoenergetiche. Nel caso di trasformazioni iperenergetiche, il DSS_5 fornisce la prima priorità alla trasformazione 8 (isoentropica), poi alla 1 (ipoentropica), ed infine alla 7 (iperentropica). Nel caso di trasformazioni isoenergetiche (colore giallo) tra le due possibilità considera prioritaria quella con minore entropia, lo stesso dicasi per quelle ipoenergetiche (colore arancione).

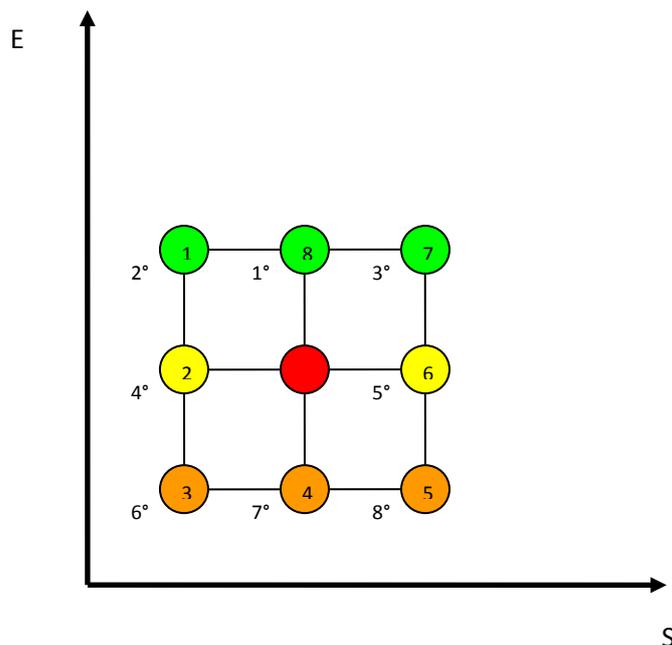


Figura 15. Algoritmo DSS_5 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

4.5.6 Algoritmo DSS_6

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 2,3,4,1,5,8,7,6.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 16 mostra il comportamento del DSS_6. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato abbassando globalmente l'energia del sistema. Cio' si evince dal fatto che le prime priorità (le tre colorate in verde) sono o trasformazioni isoenergetiche o ipoenergetiche. In ogni singola trasformazione (ovvero per ogni step), essendo la prima priorità una trasformazione isoenergetica il sistema tenderà a conservare l'energia dello stato iniziale. Qualora cio' non sia possibile il DSS con il presente algoritmo tenta una tra le due strategie in giallo, ovvero prima ad aumentare l'energia abbassando l'entropia, ovvero ad abbassare l'energia ed aumentare transitoriamente l'entropia. Qualora neppure il secondo set di trasformazioni sia permesso, il DSS attua una delle tre strategie del terzo gruppo (ovvero quelle colorate in arancione) nel seguente ordine aumento isoentropico dell'energia (trasformazione 8), aumento dell'energia e contestuale aumento dell'entropia (trasformazione 7), aumento isoenergetico dell'entropia (trasformazione 6).

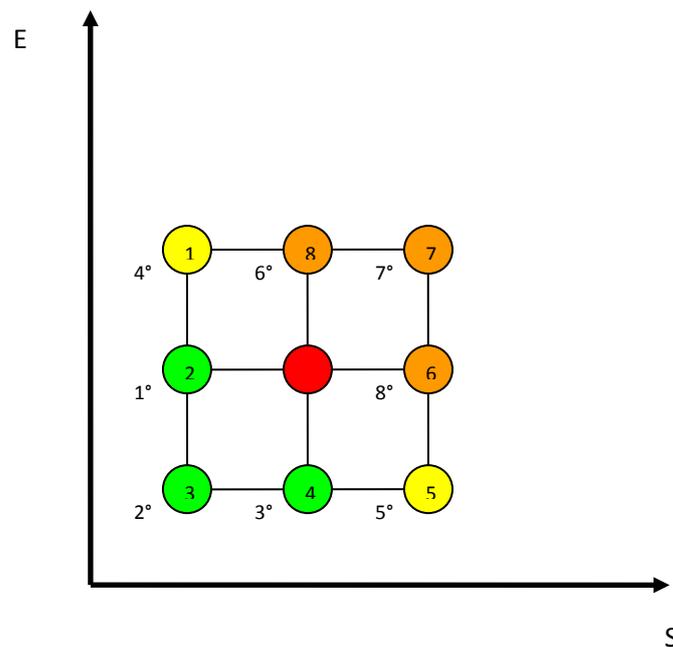


Figura 16. Algoritmo DSS_6 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step a mantenere costante l'energia o abbassarla minimizzando globalmente l'entropia.

4.5.7 Algoritmo DSS_7

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 4,3,2,1,8,7,6,5.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 17 mostra il comportamento del DSS_7. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato abbassando globalmente l'energia del sistema. Cio' si evince dal fatto che le prime priorità (le tre colorate in verde) sono o trasformazioni ipoenergetiche o isoenergetiche. In ogni singola trasformazione (ovvero per ogni step), essendo la prima priorità una trasformazione ipoenergetica il sistema tenderà a diminuire l'energia dello stato iniziale. Qualora cio' non sia possibile il DSS con il presente algoritmo tenta una tra le due strategie in giallo, ovvero prima ad aumentare l'energia abbassando l'entropia, ovvero ad aumentare l'energia isoentropicamente. Qualora neppure il secondo set di trasformazioni sia permesso, il DSS attua una delle tre strategie del terzo gruppo (ovvero quelle colorate in arancione) nel seguente ordine aumento dell'energia con contestuale aumento dell'entropia (trasformazione 7), aumento dell'entropia isoenergeticamente (trasformazione 6), aumento ipoenergetico dell'entropia (trasformazione 5).

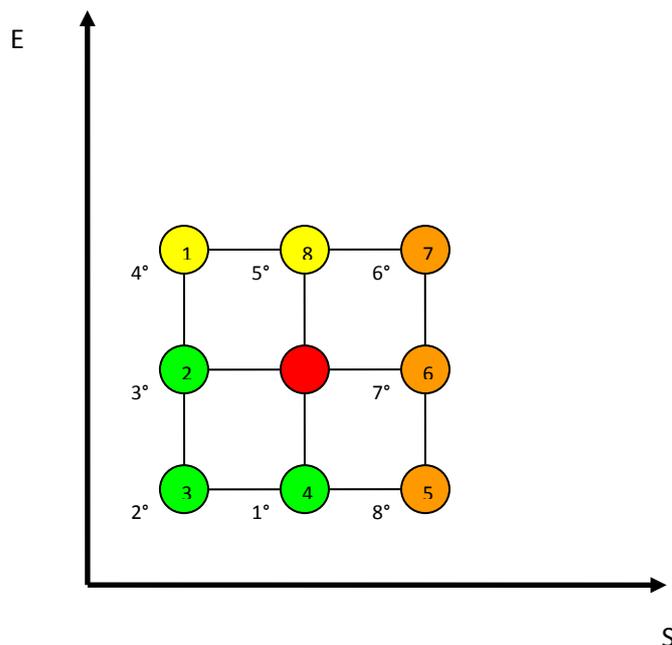


Figura 17. Algoritmo DSS_7 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step a diminuire l'energia minimizzando globalmente l'entropia.

4.5.8 Algoritmo DSS_8

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 1,2,3;8,4,5,6,7. Il punto e virgola nella sequenza, come vedremo in seguito, non è un errore di battitura, ma significa che per i primi tre stati c'è una logica computazionale ulteriore che viene considerata relativamente ai microstati corrispondenti ad uno stesso macrostato nell'ambito di quelli a massima priorità (ovvero le trasformazioni caratterizzate dal colore verde).

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 18 mostra il comportamento del DSS_8. Esso fermo restando l'obiettivo finale di minimizzare l'entropia, tenta di raggiungere tale risultato aumentando globalmente l'energia del sistema lasciandosi catturare dall'attrattore con energia più vicina a quella iniziale al più leggermente maggiorata.

Il presente DSS presenta similarità con il DSS_1 ed il DSS_2. In particolare con il DSS_1 condivide sia la strategia di primaria priorità (trasformazioni di colore verde) che di secondaria priorità (trasformazioni di seconda priorità). Con il DSS_2, invece, condivide solo la strategia di primaria priorità.

Cio' si evince dal fatto che le prime priorità (le tre colorate in verde) sono trasformazioni che implicano una diminuzione dell'entropia e poste nel seguente ordine iperenergetica, isoenergetica, ipoenergetica. Al secondo livello di priorità (trasformazioni in giallo) troviamo prima una trasformazione isoentropica ad aumento dell'energia (trasformazione 8) e poi in seconda priorità una isoentropica a riduzione dell'energia (trasformazione 4). Qualora sia le trasformazioni di prima priorità che quelle di seconda siano proibite, il DSS attua una di quelle di terza priorità (ovvero le trasformazioni in arancione) nell'ordine seguente: ipoenergetiche, ipoenergetiche, iperenergetiche.

E' importante notare che il DSS_8 diversamente da tutti i precedenti tiene conto del numero di microstati associato ad un dato macrostato. Detto in altre parole, tra le trasformazioni del primo livello di priorità (quelle di colore verde) viene scelta quella con la più alta densità di microstati. Il motivo di tale innovazione rispetto ai casi precedenti è legato al fatto che si vuole dare all'organo decisionale una maggiore scelta; infatti, sarà più facile disegnare una strategia gestionale che faccia transire il sistema da un macrostato a fissata entropia ad uno a più bassa entropia se il numero di microstati di quest'ultimo è più grande,

poiche' offrirà piu' scelte possibili. In base a tale considerazione, si comprende il perche' le trasformazioni in verde presentano tutte la stessa priorità (ovvero 1°); infatti, il sistema darà loro la stessa priorità e sceglierà quella con il maggiore numero di microstati.

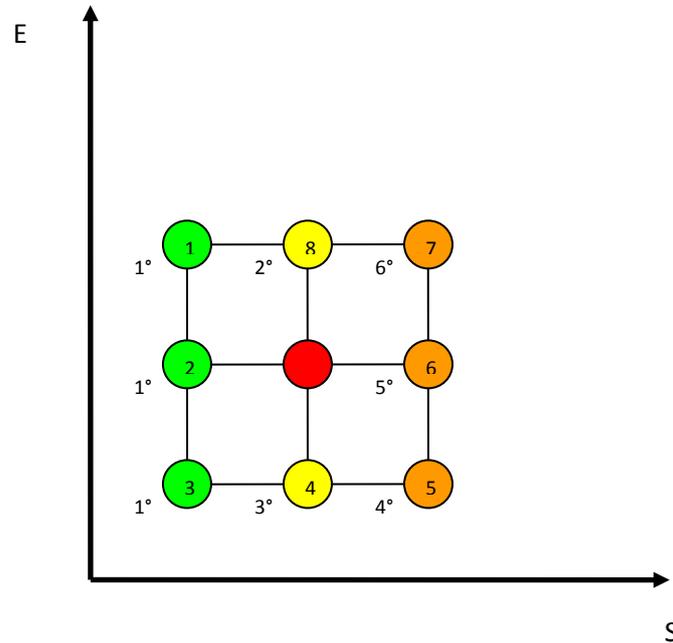


Figura 18. Algoritmo DSS_8 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step a mantenere l'energia iniziale essendo catturato da un attrattore centrale.

4.5.9 Algoritmo DSS_9

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 2,3,4;1,5,6,7,8.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 19 mostra il comportamento del DSS_9.

Anche in questo caso come per il DSS_8 abbiamo a che fare con un algoritmo di supporto alle decisioni che tiene conto della densità di microstati sottostanti ad ogni singolo macrostato. Pertanto, abbiamo a che fare con un sistema di attrazione piu' forte rispetto ai casi DSS_1-7. In questo caso, pero' diversamente dal DSS_8 si ha un tendenziale abbassamento dell'energia, mentre nel DSS_8 si aveva una tendenziale centralità.

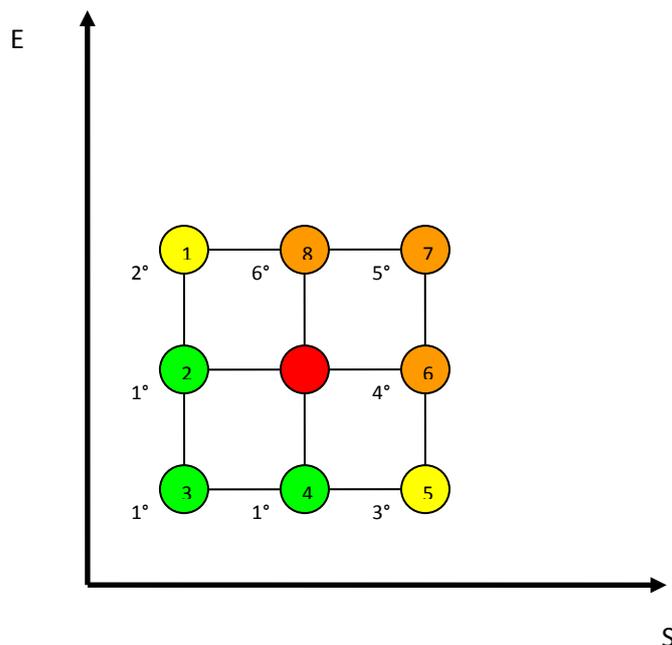


Figura 19. Algoritmo DSS_9 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step ad abbassare l’energia a patto che il nuovo stato sia quello a piu’ alta densità tra quelli possibili secondo la gerarchia di transizione. Piu’ nello specifico il sistema transirà in uno stato a maggiore densità se sarà possibile seguire una delle trasformazioni che conducono in uno stato di colore verde, altrimenti seguendo l’ordine gerarchico indicato in Figura 19.

4.5.10 Algoritmo DSS_10

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 1,2,8;3,4,7,6,5.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 20 mostra il comportamento del DSS_10. Anche in questo caso come per il DSS_8 e 9 abbiamo a che fare con un algoritmo di supporto alle decisioni che tiene conto della densità di microstati sottostanti ad ogni singolo macrostato. Pertanto, abbiamo a che fare con un sistema di attrazione piu’ forte rispetto ai casi DSS_1-7. In questo caso, pero’ diversamente dal DSS_8 si ha un tendenziale aumento dell’energia; infatti, esso ha una funzione quasi speculare al DSS_9.

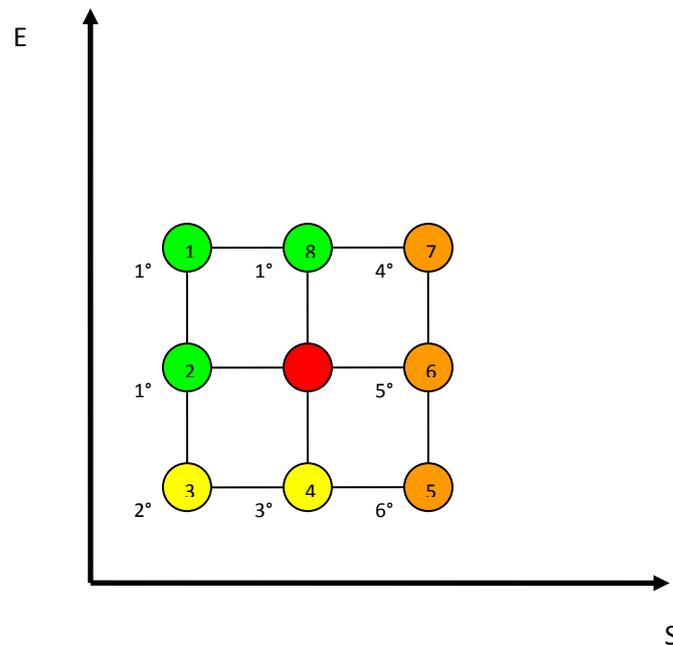


Figura 20. Algoritmo DSS_10 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step ad abbassare l'energia a patto che il nuovo stato sia quello a piu' alta densità tra quelli possibili secondo la gerarchia di transizione. Piu' nello specifico il sistema transirà in uno stato a maggiore densità se sarà possibile seguire una delle trasformazioni che conducono in uno stato di colore verde, altrimenti seguendo l'ordine gerarchico indicato in Figura 20.

4.5.11 Algoritmo DSS_11

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 7,8,1;2,3,4,5,6.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 21 mostra il comportamento del DSS_11.

Questa strategia è tale da portare il sistema verso il massimo attrattore energetico. Essa va usata con cautela, pero', poiche' in alcuni step puo' comportare l'aumento di entropia; pertanto, è necessario che l'organo di Governance sia in gradi di gestire tale criticità.

Anche in questo caso come per il DSS_8-10 abbiamo a che fare con un algoritmo di supporto alle decisioni che tiene conto della densità di microstati sottostanti ad ogni singolo macrostato. Pertanto, abbiamo a che fare con un sistema di attrazione piu' forte rispetto ai casi DSS_1-7. In questo caso, pero' diversamente dal DSS_8-10 si ha una massimizzazione dell'energia.

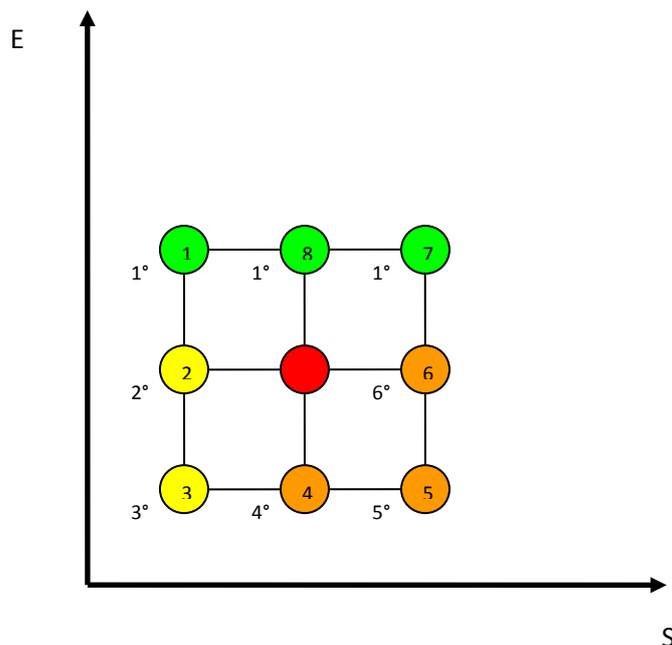


Figura 21. Algoritmo DSS_11 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step ad aumentare l'energia a patto che il nuovo stato sia quello a piu' alta densità tra quelli possibili secondo la gerarchia di transizione. Piu' nello specifico il sistema in prima battuta transirà in uno stato a maggiore densità e maggiore energia se sarà possibile seguire una delle trasformazioni che conducono in uno stato di colore verde, altrimenti seguendo l'ordine gerarchico indicato in Figura 21.

4.5.12 Algoritmo DSS_12

Tale algoritmo per ogni singolo step implementa la seguente strategia decisionale attraverso la gerarchizzazione di priorità tra le 8 trasformazioni (ovvero direzioni possibili): 3,4,5;2,6,1,8,7.

Utilizzando una semantica di semaforo la Figura 22 mostra il comportamento del DSS_12. Questa strategia è tale da portare il sistema verso il minimo attrattore energetico. Essa va usata con cautela, pero', poiche' in alcuni step puo' comportare l'aumento di entropia; pertanto, è necessario che l'organo di Governance sia in gradi di gestire tale criticità. Inoltre, puo' essere soltanto una strategia transitoria, poiche' usata con continuità porta il sistema al congelamento, ovvero alla deenergizzazione totale.

Anche in questo caso come per il DSS_8-11 abbiamo a che fare con un algoritmo di supporto alle decisioni che tiene conto della densità di microstati sottostanti ad ogni singolo macrostato. Pertanto, abbiamo a che fare con un sistema di attrazione piu' forte rispetto ai casi DSS_1-7. In questo caso, pero' diversamente dal DSS_8-11 si ha una minimizzazione dell'energia.

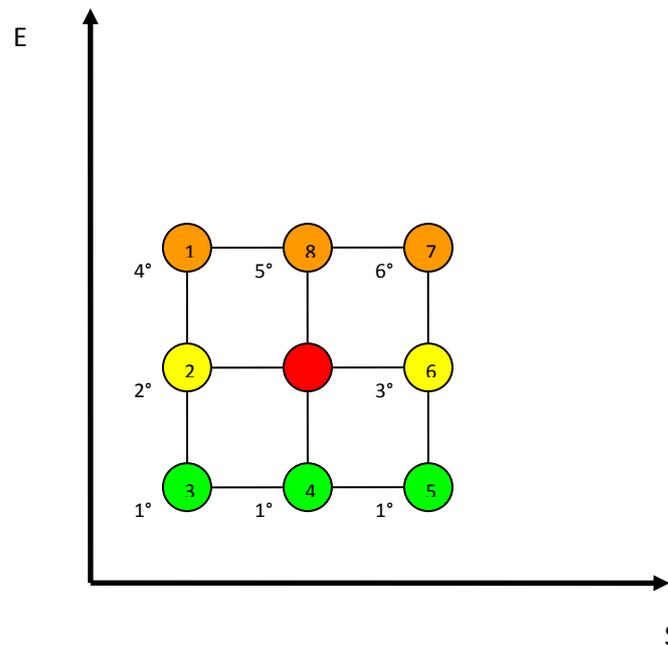


Figura 22. Algoritmo DSS_12 e gerarchizzazione degli stati con rappresentazione a semaforo

Il sistema tende in ogni step a diminuire l'energia a patto che il nuovo stato sia quello a piu' alta densità tra quelli possibili secondo la gerarchia di transizione. Piu' nello specifico il sistema in prima battuta transirà in uno stato a maggiore densità e minore energia se sarà possibile seguire una delle trasformazioni che conducono in uno stato di colore verde, altrimenti seguendo l'ordine gerarchico indicato in Figura 22.

4.5.13 Considerazioni sugli Algoritmi di DSS

Nelle sezioni precedenti abbiamo analizzato le piu' rilevanti strategie decisionali per il raggiungimento di obiettivi di specifico interesse nella gestione dei sistemi territoriali, siano essi internazionali che nazionali, regionali, provinciali o comunali. Nonostante l'apparente semplicità di quanto presentato e' importante osservare che il sistema nel suggerire decisioni just in time opera in modo molto efficiente oltre che efficace. Infatti, come descriviamo brevemente qui di seguito il sistema deve processare un numero molto alto di possibilità.

Abbiamo visto, che nel management informativo il sistema considera un numero di stati molto alto e dipendenti dagli indici caratteristici. Utilizzando un approccio termodinamico per semplificare, interpretare e destrutturare la complessità sistemica abbiamo osservato che al variare degli indici si ottiene uno spazio degli stati, detti microstati, 7-dimensionale in corrispondenza dei setti indici e contenente 78125 stati possibili in cui un sistema territoriale puo' trovarsi. Una tale approccio fornisce una rappresentazione istantanea del sistema territoriale considerato ed in studio. Al fine di prendere delle decisioni di Governance il sistema di supporto alle decisioni presentato dovrà offrire in sequenza:

- **Una Strategia Decisionale (SD);**
- **Una Strategia Gestionale (SG);**
- **Una Strategia Operativa (SO).**

Entrando nel merito, **la Strategia Decisionale (SD)** è una simulazione del sistema che ci permette di passare da una vision statica ad una dinamica. Grazie ad essa, infatti, il sistema in base alle scelte dell'organo di Governance suggerisce un percorso a step nel piano SE (Entropia-Energia) da seguire per raggiungere un determinato obiettivo che in generale è rappresentato da una minimizzazione dell'entropia del sistema territoriale e da un'ottimizzazione dell'energia del sistema territoriale stesso in base alle esigenze manifestate. Da un punto di vista formale, ciò si esprime con una traiettoria nel piano SE. Tale traiettoria è

una curva spezzata i cui estremi di ogni segmento della spezzata forniscono indicazioni circa lo stato (ovvero macrostato) di partenza del sistema e quello di arrivo per ogni transizione. Inoltre, il primo stato iniziale è lo stato in cui il sistema territoriale si trova nel momento dell'analisi, mentre l'ultimo è lo stato obiettivo che si intende raggiungere attraverso l'ottimizzazione. Al fine di costruire la strategia decisionale i 78125 microstati nel piano SE vengono rappresentati in termini dei 146 macrostati rappresentati in Figura 23. Pertanto ogni punto rappresentante un macrostato sarà più volte degenerare a seconda del numero di microstati ad esso corrispondenti. A titolo esemplificativo utilizzando la figura 5.4 il macrostato rappresentato dalla coppia entropia-energia (S,E) di coordinate (6,21) corrisponde a 1820 microstati. Pertanto, è possibile costruire un plot di intensità dei punti come quello rappresentato in figura 5.23 in modo che ad ogni punto sia associato un rettangolo di colore diverso in relazione alla densità di microstati ad esso corrispondenti.

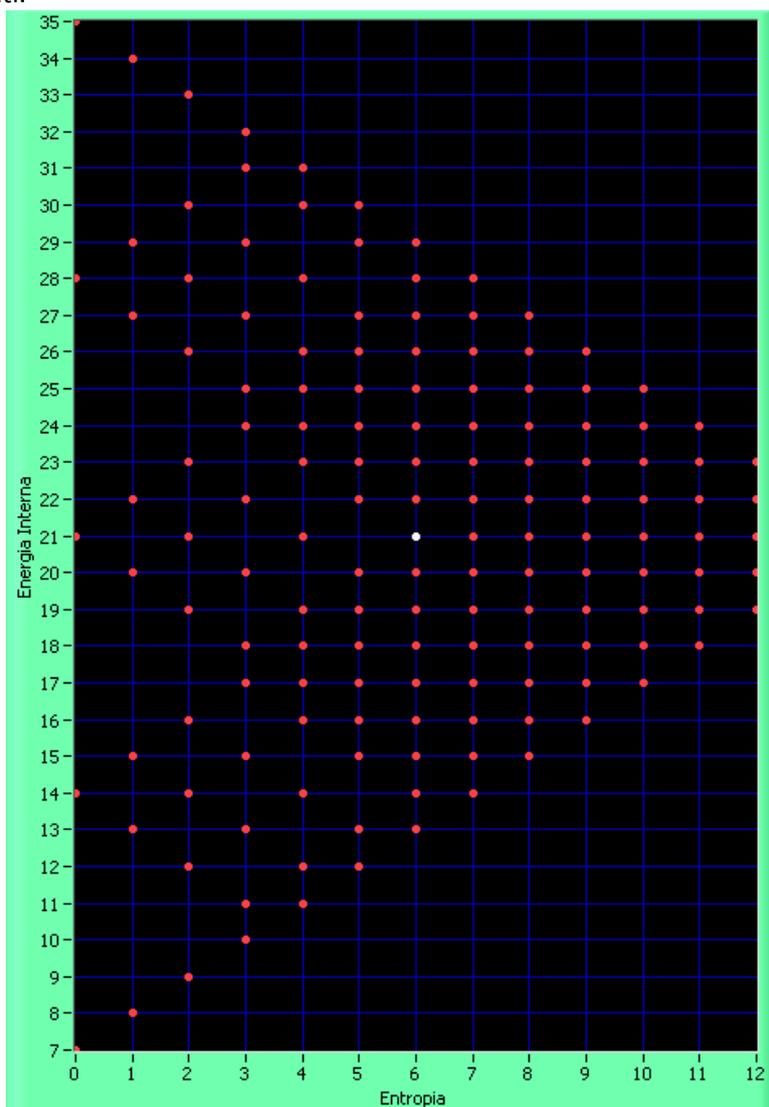


Figura 23. Rappresentazione nel piano Entropia-Energia SE dei 146 macrostati corrispondenti ai 78125 microstati. Il punto di colore bianco al centro dell'immagine rappresenta il macrostato con Entropia S=6 ed Energia E=21, ovvero (6,21)

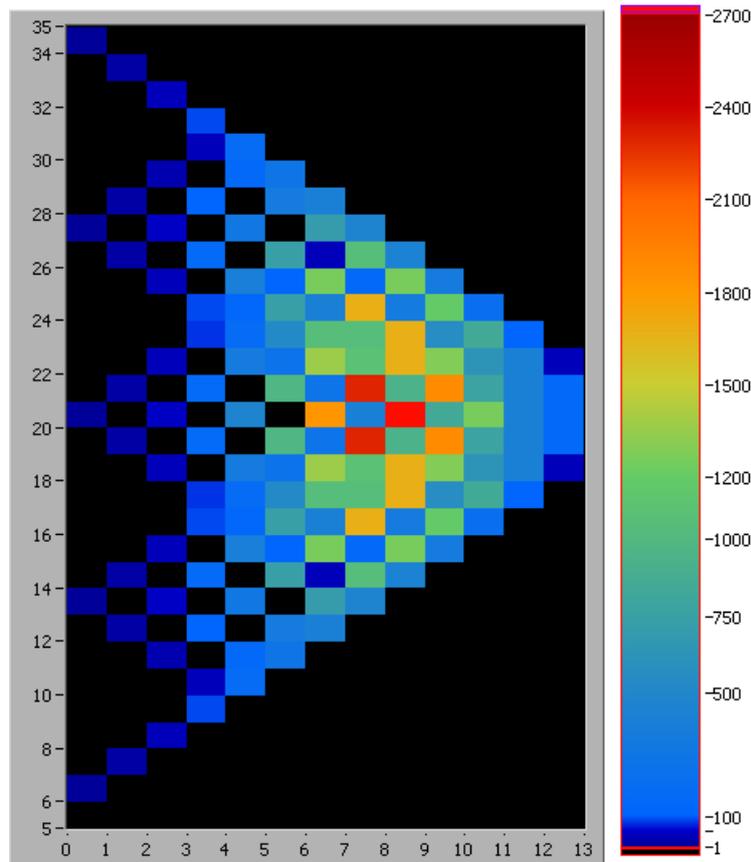


Figura 24. Rappresentazione nel piano Entropia-Energia SE dei 146 macrostati corrispondenti ai 78125 microstati. Attraverso un plot di intensità che esprime il livello di densità di macrostati in relazione al numero di microstati in esso espressi

Ai non esperti si suggerisce la strategia decisionale DSS_10 nel caso sia necessario aumentare la dinamica e quindi l'energia del sistema. Viceversa qualora sia necessario diminuire l'energia del sistema si suggerisce la strategia decisionale DSS_9.

Il sistema proposto con i relativi algoritmi suggerisce della strategie decisionali che individuano come minimizzare l'entropia utilizzando il piu' opportuno pattern energetico a seconda degli obiettivi intermedi che si intende perseguire. Come vedremo nella prossima sezione a partire da tali risultati ottenuti è possibile costruire delle strategie gestionali che aiutano l'esperto ovvero l'organo di Governance ad individuare la piu' opportuna strategia da porre in essere. Nello specifico il sistema suggerisce sia il percorso da seguire senza, pero', entrare nel merito di quali parametri, ovvero indici, far variare lasciando cosi' al decisore la piu' ampia autonomia decisionale da un lato e fornendo al sistema di supporto alle decisioni la piu' ampia generalità possibile. In altre parole, tale analisi, in questo caso, realizza delle strategie gestionali a livello di microstato. Inoltre, il sistema, come vedremo, puo' istanziare anche strategie gestionali a livello di microstato. Chiameremo tali strategie con il termine di strategie operative, proprio in relazione al fatto, che in tale caso in relazione ad un obiettivo specifico, ad esempio massimizzazione dell'indice economico, realizza una strategia operativa, ovvero a livello di microstato, che comporranno il path per la minimizzazione dell'entropia e l'ottimizzazione dell'energia, ovvero ottimizzazione a livello di macrostato.

Come vedremo nella sezione successiva **la Strategia Gestionale (SG)** suggerisce quali azioni porre in essere in termini di variazione di energia e/o entropia. La Figura 25 ne fornisce un esempio. In essa troviamo sia la SG da porre in essere, sia il numero di microstati possibili e quindi il numero di possibili scelte a disposizione

dell'organo di Governance. L'ultimo step fornisce anche il nome dell'attrattore da raggiungere nella strategia, classificato secondo il seguente schema in termini di coppie Entropia-Energia (S,E):

- Attrattore Massimale $A_M=(0,35)$;
- Attrattore Alto $A_A=(0,28)$;
- Attrattore Centrale $A_C=(0,21)$;
- Attrattore Basso $A_B=(0,14)$;
- Attrattore Minimale $A_m=(0,7)$.

Gerarchia delle Strategie Gestionali	
STRATEGIA	Numero di Stati Possibili
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	980
Diminuire Entropia S Diminuire Energia E	462
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	147
Diminuire Entropia S Diminuire Energia E	42
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	7
Aumentare Entropia S Aumentare Energia E	28
Aumentare Entropia S Aumentare Energia E	77
Mantenere costante Entropia S Aumentare Energia E	84
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	28
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	7
Diminuire Entropia S Aumentare Energia E	1
Raggiunto ATTRATTORE ALTO	OBIETTIVO RAGGIUNTO

Figura 25. Esempio di Strategia Gestionale. Nella colonna di sinistra la SG da porre in essere, mentre nella colonna di destra i microstati possibili e quindi il numero di possibili scelte a disposizione dell'organo di Governance

Infine, vedremo successivamente **le Strategie Operative (SO)** che forniscono quali azioni considerare in termini di microstati. In altre parole, una volta individuati i diversi step nel piano SE, ovvero i macrostati da considerare grazie alle SD, con le SG si determinano le Strategie Gestionali in termini di variazione di S ed E da seguire, con le SO - in base alle scelte del strumento di governance ed alle diverse SO che il sistema offre

– si individuano gli specifici microstati in cui far transire il sistema. Quindi, grazie alle SO è possibile comprendere come far variare gli indici del territorio agendo direttamente sui sette diversi fattori indicati, ovvero indice demografico, ambientale, economico, organizzativo, politico, psicologico ed etico. L’Organo di Governance avrà quindi un supporto operativo per governare il territorio avendo a disposizione una modellazione matematica e delle strategie operative che non solo sono il frutto della loro esperienza ma anche di un’attenta analisi delle complessità da gestire.

Infine, a conclusione di questa sezione è utile completare l’analisi affrontando il tema della complessità che il sistema proposto implementa al suo interno. Nello specifico abbiamo visto che vengono considerati 78125 microstati, rappresentati nel piano SE attraverso 146. Mentre nella sezione successiva tratteremo la complessità computazionale dei sottosistemi SG ed SO, qui consideriamo quella del modulo SD per la costruzione di strategie decisionali. Individuare una strategia decisionale, in relazione ad uno dei modelli scelti rispetto a quanto l’organo di Governance vuole realizzare sul territorio, significa costruire una traiettoria nel piano SE.

Per l’analisi della complessità sistemica bisogna allora calcolare quante siano le traiettorie che possono essere costruite rispettando le seguenti condizioni:

- Le traiettorie sono curve **aperte**, ovvero sono curve i cui punti estremi sono distinti;
- Le traiettorie sono curve **senza biforcazioni**, ovvero percorrendo la traiettoria non è possibile passare per uno stesso punto per più di una volta;
- Le traiettorie sono una **concatenazione di archi** che collegano nodi, ovvero i 146 macrostati (nodi) sono distribuiti nel piano SE come riportato nella figura 83 e le traiettorie sono le curve spezzate che li collegano;
- Le traiettorie sono **orientate**, ovvero sono delle spezzate che congiungono macrostati con entropia via via decrescente fino ad uno dei macrostati ad entropia nulla (attrattori) scelto in base ad una delle strategie decisionali disponibili;
- Le traiettorie sono **ordinate**, ovvero traiettorie che passano per gli stessi punti, sono da considerarsi diverse se cambia l’ordine di percorrenza dei punti.

Il numero di traiettorie risultante in accordo con i precedenti requisiti è estremamente alto, dell’ordine di qualche milione di miliardi di miliardi, ovvero $6,665 \times 10^{24}$.

Al fine di meglio inquadrare quanto sia grande il numero di traiettorie è utile la tabella seguente.

Potenze di 10	Definizione	
10^3	1 Kilo	Mille
10^6	1 Mega	1 Milione
10^9	1 Giga	1 Miliardo
10^{12}	1 Tera	Mille Miliardi
10^{15}	1 Peta	1 Milione di Miliardi
10^{18}	1 Exa	1 Miliardo di Miliardi
10^{21}	1 Zetta	Mille Miliardi di Miliardi
10^{24}	1 Yotta	1 Milione di Miliardi di Miliardi

I primi termini (Kilo, Mega, Giga, Tera) grazie all’avvento dell’Era dell’Informazione sono diventati di uso comune, ma col crescere delle tecnologie dell’ICT presto ci abitueremo anche agli altri (Peta, Exa, Zetta, Yotta); il presente sistema è uno dei primi esempi di sistema abituato a trattare numeri così grandi di possibilità ed informazioni, capace di riconoscere l’ordine nel caos grazie a logiche gerarchiche di computazione.

Per comprendere come si arrivi a tale valore dobbiamo dividere la computazione step per step, ovvero contando quanto siano le traiettorie per ridurre di un’unità l’entropia S , passando da un macrostato (S, E_1) ad uno $(S-1, E_2)$. Tale computazione sarebbe più semplice se dovessimo trattare un dominio regolare, come ad esempio un rettangolo, mentre dalla figura nel nostro caso abbiamo un trapezio in cui, inoltre, ci sono

alcuni buchi. Senza entrare nel tedioso dettaglio matematico, qui di seguito riportiamo il numero di archi che possono essere costruiti per passare da un livello di entropia S ad uno S-1.

S → S-1	Numero Archi
12 → 11	75
11 → 10	147
10 → 9	243
9 → 8	363
8 → 7	507
7 → 6	675
6 → 5	714
5 → 4	104
4 → 3	86
3 → 2	28
2 → 1	14
1 → 0	8

Il numero di traiettorie è dato dalle possibili concatenazioni di archi dato dal prodotto dei fattori precedenti, ovvero

$$\#(\text{traiettorie}) = \prod_{i=0}^{12} \#(\text{archi})_{S_i \rightarrow S_{i-1}} = 8 \times 14 \times \dots \times 147 \times 7 = 6,665 \times 10^{24}$$

dove con il simbolo #(x) intendiamo il numero di quantità x.

Quanto appena descritto lascia comprendere come il sistema, con le sue strategie decisionali, sia un reale supporto alle decisioni just in time in grado di fornire una soluzione ottima, rispetto ad un criterio definito dall'organo di Governance o da un esperto, scelta tra qualche milione di miliardi di miliardi di strategie (traiettorie) possibili. Comprendiamo allora come possa essere comune per alcuni confondere il concetto di complessità con quello di caos; infatti, senza un modulo di supporto alle decisioni la scelta di una strategia tra un milione di miliardi di miliardi necessiterebbe di un tempo di scelta assolutamente proibitivo; pertanto, sarebbe necessario affidarsi all'esperienza ed alla soggettività del decisore e pertanto non potendo trattare razionalmente tutti gli elementi di scelta avremmo a che fare con una scelta caotica in un insieme che seppure molto grande di possibilità è comunque finito. Grazie al modulo SD del sistema, invece, definiti i precedenti requisiti e definita una scelta di Governance il sistema è in grado di proporre al decisore una (o piu') traiettoria e quindi una strategia rispondente ai requisiti risolvendo la complessità sistemica e facendo apparire in modo evidente di come si tratti di un sistema che seppure complesso è deterministico e non caotico.

Successivamente, anche se con un maggiore livello di complessità, vedremo come sia possibile scegliere anche una o piu' strategie gestionali ed operative, ovvero ragionando in termini di microstati e di indici.

4.6 Le Strategie Gestionali

Il modulo di strategie decisionali fornisce come output la traiettoria ottima rispetto all'obiettivo da raggiungere rappresentato dalla minimizzazione dell'entropia e dall'ottimizzazione dell'energia in base alla Strategia Decisionale (SD) indicata dall'organo di Governance. Un tipico esempio è fornito dalle figure 5.10. Un tale risultato seppure matematicamente completo è poco esplicativo per un pubblico non addetto ai lavori. Pertanto, il ruolo del modulo di Strategie Gestionali (SG) è di tradurre linguisticamente quanto espresso matematicamente dal SD e quindi fornire all'organo di Governance delle indicazioni di massima sulle azioni da porre in essere, ma lasciando allo stesso ogni azione relativamente a come farlo, cioè a quali indici modificare.

Nello specifico, dato uno stato (macrostato) e considerato il suo ottoconnesso, il sistema ad ogni step tradurrà la transizione dello stato dalla sua posizione centrale ad una dei punti dell'ottoconnesso con una

delle sentenze indicate qui di seguito e corrispondenti (vedi figura 5.9 per confrontare le sentenze con le transizioni:

- Transizione 0 → 1: “Diminuire l’Entropia S, Aumentare l’Energia E”;
- Transizione 0 → 2: “Diminuire l’Entropia S, Mantenere costante l’Energia E”;
- Transizione 0 → 3: “Diminuire l’Entropia S, Diminuire l’Energia E”;
- Transizione 0 → 4: “Mantenere Costante l’Entropia S, Diminuire l’Energia E”;
- Transizione 0 → 5: “Aumentare l’Entropia S, Diminuire l’Energia E”;
- Transizione 0 → 6: “Aumentare l’Entropia S, Mantenere Costante l’Energia E”;
- Transizione 0 → 7: “Aumentare l’Entropia S, Aumentare l’Energia E”;
- Transizione 0 → 8: “Mantenere Costante l’Entropia S, Aumentare l’Energia E”.

La strategia gestionale, sarà pertanto una composizione di affermazioni scelte tra le precedenti. La lunghezza di composizione, ovvero il numero di affermazioni che compongono la strategia gestionale, sarà pari al numero di step per raggiungere uno dei cinque attrattori a partire dallo stato corrente in cui si trova il sistema territoriale.

Il sistema dovrà inoltre fornire per ogni transizione il numero di microstati corrispondenti allo macrostato di arrivo; tale numero rappresenterà per l’organo di Governance un’indicazione circa le possibilità di scelta a disposizione per migliorare lo stato di territorio. Inoltre, il modulo di SG dovrà anche fornire l’indicazione di “Obiettivo Raggiunto” al termine della strategia gestionale e fornire indicazioni sullo stato finale raggiunto, ovvero la tipologia di attrattore da raggiungere, quanti step sono necessari, l’energia a cui il sistema territoriale andrà all’equilibrio stabile, ovvero l’energia dell’attrattore.

E’ evidente che qualora l’organo di Governance o l’esperto desideri oltre alla macro strategia anche dei suggerimenti circa le azioni da compiere in termini di indici caratteristici, si rende allora necessaria l’azione del modulo di Strategie Operative (SO) che opera direttamente sui microstati attraverso una serie di funzioni obiettivo che descriveremo nella sezione successiva. Tali funzioni avranno l’obiettivo di destrutturare ulteriormente l’informazione. Nello specifico come visto l’output del modulo SG è degenerare, ovvero al fianco della strategia gestionale, viene proposto il numero di possibilità (vedi figura 5.24) ed in una visualizzazione avanzata anche tutti i microstati associati a quel dato macrostato (vedi figura 5.25). Nello specifico la figura 5.25 mostra un array di strutture; la struttura dati contiene il microstato, la sua caratterizzazione, la sua entropia e la sua energia. E’ evidente quindi dalla figura che pur trattandosi di microstati equienergetici ed equientropici essi sono distinti.

Il modulo SO attua delle strategie operative che rompono la degenerazione scegliendo tra tutti i microstati quello più idoneo a perseguire una data strategia individuata dall’organo di Governance o dall’esperto.

Microstati

0	1333345	1333354	1333435	1333444	1333453	1333534
0	4+1+1+1	4+1+1+1	4+1+1+1	3+3+1	4+1+1+1	4+1+1+1
	Energia	Energia	Energia	Energia	Energia	Energia
	22	22	22	22	22	22
	Entropia	Entropia	Entropia	Entropia	Entropia	Entropia
	5	5	5	5	5	5

Figura 26. Esempio di Microstati associati allo stesso macrostato

4.7 Le Strategie Operative

Al fine di attuare quanto descritto alla fine della sezione precedente, ovvero realizzare delle strategie operative - altrimenti dette strategie gestionali a livello di microstato – si rende necessario rompere il livello di degenerazione associato ai macrostati, ovvero definire delle logiche che permettano di scegliere tra i

microstati associati ad un dato macrostato quel microstato che meglio rappresenta la situazione prospettica di interesse, ovvero l'obiettivo a cui si vuole tendere nei diversi singoli step e per il perseguimento della strategia globale. Detto in altre, parole il ruolo delle SO è di scegliere i microstati attraverso cui far transire il sistema lungo la traiettoria che va dallo stato corrente ad uno dei cinque attrattori all'equilibrio. Per raggiungere un tale risultato è necessario individuare alcune regole espresse attraverso delle funzioni obiettivo, come ad esempio effettuare transizioni tra microstati che non appaiono brusche alla popolazione, oppure fermo restando il raggiungimento dell'obiettivo finale definire delle priorità di massimizzazione di uno degli indici più rapidamente che altri, ad esempio rapida evoluzione economica, lenta crescita demografica, abbassamento dell'indice ambientale corrispondente ad un abbattimento dei fattori criminogeni, etc.

4.7.1 Ottimizzazione per Contiguità

Il primo requisito è tipicamente comune a tutte le strategie operative, ovvero la transizione che il sistema deve suggerire deve essere tale da non creare percezioni di drastico cambiamento nella popolazione. Da un punto di vista della dinamica dei sistemi ciò equivale a dire che le transizioni devono essere regolari. Da un punto di vista della teoria delle informazioni applicate al sistema ciò vuol dire che considereremo stati contigui, il che equivale a dire che nelle transizioni da un macrostato ad un altro sceglieremo, laddove possibile, quei microstati che differiscono tra loro per non più di una unità per ogni singolo indice. Detto in altre, parole se in una transizione da uno macrostato A (con microstato x) ad uno B esistono due microstati y in B con pari entropia ed energia allora tra questi sceglieremo quello la cui distanza degli indici da x è minore. Volendo fare un esempio, numerico se ad esempio l'indice demografico di x è 3 e quello di y_1 è 2, mentre quello di y_2 è 5 si preferirà y_1 che differisce da x per una unità rispetto a y_2 che differisce di 2 unità. Ovviamente tale strategia non sarà valida se l'obiettivo è di aumentare l'indice demografico visto che in questo caso y_1 lo diminuirebbe e pertanto sarebbe da preferirsi y_2 .

Grazie ad una funzione obiettivo definita ad hoc il sistema ad ogni step, ovvero fissato il macrostato di arrivo, può scegliere tra i microstati quello ottimo rispetto alla funzione obiettivo eliminando la degenerazione dei microstati. In tal modo potrà offrire all'utente una strategia operativa basata su microstati, ovvero sugli indici. Suggestirà quindi passo per passo quale debba essere la nuova configurazione in termini dei sette indici. La figura 5.26 mostra la sequenza dei microstati attraverso cui transire, la figura 5.27 fornisce le stesse informazioni della 5.26 ma formattata in modo che sia più intelligibile il risultato in termini di denominazione e valore degli indici; infine la figura 5.28 rappresenta graficamente l'andamento di tutti gli indici nei diversi step fino al raggiungimento dell'obiettivo globale, ovvero il raggiungimento di uno dei cinque attrattori a seconda della strategia decisionale precedentemente determinata oltre, che al microstato di interesse (in verde) ed al vettore degli stati verso cui transire (in rosso).



Figura 27. Esempio di Microstati associati ad una strategia gestionale per microstati (strategia operativa) che conduca dal microstato 1234533 all'attrattore 4444444.

SEQUENZA della STRATEGIA GESTINALE

X1 - Indice Demografico:	1
X2 - Indice Ambientale:	2
X3 - Indice Economico:	3
X4 - Indice Organizzativo:	4
X5 - Indice Politico:	5
X6 - Indice Psicologico:	3
X7 - Indice Etico:	3
X1 - Indice Demografico:	1
X2 - Indice Ambientale:	3
X3 - Indice Economico:	3
X4 - Indice Organizzativo:	4
X5 - Indice Politico:	5
X6 - Indice Psicologico:	3
X7 - Indice Etico:	3
X1 - Indice Demografico:	1
X2 - Indice Ambientale:	3
X3 - Indice Economico:	3
X4 - Indice Organizzativo:	3
X5 - Indice Politico:	5
X6 - Indice Psicologico:	3
X7 - Indice Etico:	3
X1 - Indice Demografico:	2
X2 - Indice Ambientale:	3
X3 - Indice Economico:	3
X4 - Indice Organizzativo:	3
X5 - Indice Politico:	5
X6 - Indice Psicologico:	3
X7 - Indice Etico:	3
X1 - Indice Demografico:	2
X2 - Indice Ambientale:	3
X3 - Indice Economico:	3
X4 - Indice Organizzativo:	3
X5 - Indice Politico:	4
X6 - Indice Psicologico:	3
X7 - Indice Etico:	3

Figura 28. Esempio dei primi 5 Microstati associati ad una strategia gestionale per microstati (strategia operativa) che conduca dal microstato 1234533 all'attrattore 4444444

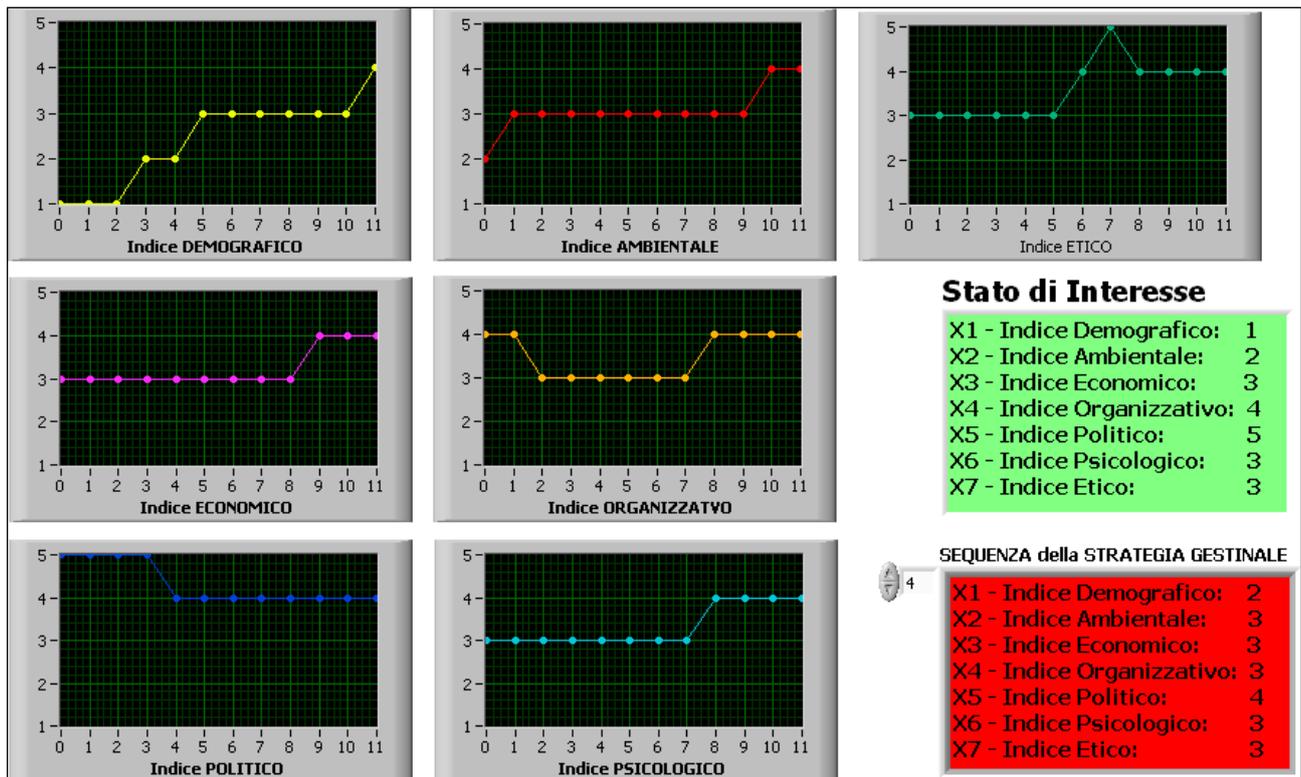


Figura 29. Esempio grafico dell'andamento degli indici nella strategia operativa che conduce dal microstato 1234533 all'attrattore 4444444

Quanto appena descritto chiude la filiera del trattamento delle informazioni fornendo sia una strategia decisionale, che gestionale che operativa per portare un sistema territoriale da una situazione di squilibrio ad una di equilibrio.

Infatti, grazie a quest'ultimo modulo l'organo di Governance ha anche a disposizione un suggeritore di azioni da porre in essere direttamente sul territorio.

4.7.2 Ottimizzazione dell'Evoluzione di Indici di primario interesse

Di fatto, fermo restando l'interesse all'uso della precedente strategia operativa, potrebbe essere necessario che si intenda raggiungere un dato obiettivo globale (strategia decisionale), attraverso una strategia operativa che faccia evolvere un parametro piu' rapidamente di un altro. Ad esempio, potrebbe essere rilevante far crescere rapidamente il fattore economico o quello politico. Per rispondere ad una tale tipologia di richiesta il sistema prevede le seguenti otto strategie operative (SO) in cui viene definita l'ordine di priorità, strettamente gerarchico, degli indici da ottimizzare:

1. SO_1 = (X1, X5, X4, X3, X2, X7, X6)
2. SO_2 = (X2, X5, X4, X7, X3, X1, X6)
3. SO_3 = (X3, X4, X5, X2, X1, X6, X7)
4. SO_4 = (X4, X5, X3, X1, X6, X2, X7)
5. SO_5 = (X5, X1, X6, X4, X3, X7, X2)
6. SO_6 = (X6, X4, X2, X1, X5, X3, X7)
7. SO_7 = (X7, X6, X5, X2, X1, X3, X4)
8. SO_L = ORDINAMENTO A SCELTA DELL'UTENTE

Dare priorità ad un indice rispetto ad un altro significa generare le condizioni sul territorio che permettano di attuare un dato piano di evoluzione di un fattore piuttosto che di un altro.

Dall'ordine di priorità dato agli indici è facile rendersi conto che la SO_1 è una strategia a rapida evoluzione Demografica; infatti essa considera prioritaria, oltre all'evoluzione dell'indice demografico, l'evoluzione degli indici: politico, organizzativo ed economico.

La SO_2 è una strategia di evoluzione Ambientale; infatti, pone attenzione prioritaria all'indice politico, organizzativo ed etico, oltre ovviamente a quello ambientale stesso.

La SO_3 è una strategia di evoluzione economica; infatti, troviamo in ordine di importanza: l'indice organizzativo, politico ed ambientale, oltre a quello economico stesso.

La SO_4 è una strategia di evoluzione Organizzativa; infatti, l'ordinamento indice prevede la seguente priorità: politico, economico, demografico, oltre a quello organizzativo stesso.

La SO_5 è una strategia di evoluzione Politica; infatti, le priorità nell'ordinamento degli indici è: demografico, psicologico, organizzativo, oltre a quello politico stesso.

La SO_6 è una strategia di evoluzione Psicologica; infatti, le priorità degli indici sono: organizzativo, ambientale, demografico, oltre che quello psicologico stesso.

La SO_7 è una strategia di evoluzione Etica; infatti, l'ordinamento degli indici è il seguente: psicologico, politico, ambientale oltre a quello etico stesso.

Infine, la SO_8 è una strategia operativa che fornisce all'utente la massima libertà nel definire le priorità degli indici.

Particolarmente interessante è il risultato rappresentato in Figura 30. Essa rappresenta una situazione in cui abbiamo esattamente la stessa strategia decisionale e gestionale di quanto riportato in Figura 28, ma mentre lì abbiamo adottato una strategia ottimizzata per la contiguità, ovvero variazioni regolari degli indici, in questo caso abbiamo scelto una politica di sviluppo economico del territorio che equivale ad una rapida crescita dei primi quattro indici, ovvero economico, organizzativo, politico, demografico. Il risultato è una più rapida evoluzione di questi indici, ma anche una maggiore fluttuazione degli stessi.

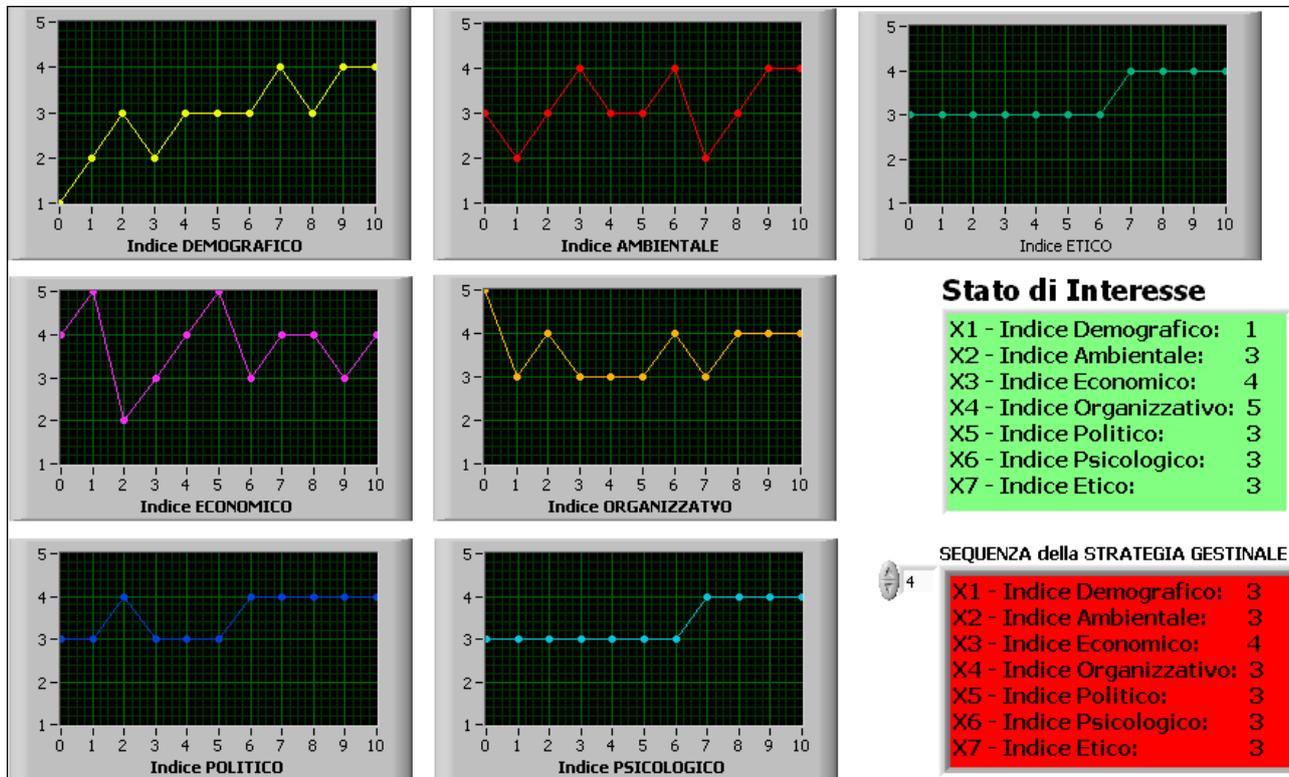


Figura 30. Esempio grafico dell'andamento degli indici nella strategia operativa che conduce dal microstato 1234533 all'attrattore 4444444 attraverso una strategia operativa di evoluzione economica, ovvero del tipo SO_3

5 Conclusioni

Il presente studio ha analizzato le principali tematiche di interesse relativamente ai Decision Support System utili al contesto di studio. Inoltre, sono state considerate le funzionalità del SACS quale risposta tecnologica alla realizzazione di una infrastruttura decisionale ad alta complessità. Tale risposta si basa sull'avanzata modellazione dei sistemi territoriali complessi proposta dall'autore in passato in altri contesti, dove è stata definita una nuova metodologia di analisi delle informazioni provenienti dal territorio che permette di definire policy di governo in termini di controllo, supervisione, sviluppo e sicurezza del territorio in relazione a pochi indici rappresentativi (demografico, ambientale, economico, organizzativo, politico, psicologico, etico).

A partire dallo spazio degli scenari possibili il sistema clusterizza prima l'informazione per ottenere degli indicatori di macro-analisi atti a rappresentare il sistema territorio in termini di dinamicità, ovvero energia, e livello organizzativo, ovvero ordine ed entropia. Grazie a tale metafora termodinamica è possibile costruire modelli deterministici atti a costruire logiche di governo del territorio che non siano solo il frutto dell'esperienza, ma che siano significativamente supportate da un sistema in grado di suggerire strategie decisionali in relazione alle priorità individuate. A seguito di tale macro analisi il modello ed il relativo sistema offrono all'utente la possibilità di individuare delle priorità in termini gestionali; in tal caso l'informazione viene nuovamente destrutturata in modo da essere analizzata secondo le specifiche esigenze dell'utente ed offrendogli delle strategie gestionali del territorio. Qualora ciò non fosse ancora sufficiente il modello computazionale prevede la possibilità di richiedere specifiche strategie operative che permettano di definire dei microstati attraverso cui far transire il sistema territorio ovvero ICN (Infrastruttura Critica Nazionale), fermo restando l'obiettivo finale di raggiungere un dato stato di interesse a cui si vuole condurre il sistema stesso. La pila concettuale:

- Modellazione della scenario,
- Contestualizzazione dello scenario nello spazio di tutti gli stati possibili,
- Individuazione dei Fattori Critici di Successo,
- Definizione/Individuazione delle Strategie Decisionali,
- Definizione/Individuazione delle Strategie Gestionali,
- Definizione/individuazione delle Strategie Operative,

garantisce all'organo di Governance di un territorio o di una ICN la capacità analitica di effettuare le migliori scelte in base alle specifiche esigenze di volta in volta poste in essere dai diversi attori.

Per completezza di ragionamento è utile osservare che se consideriamo congiuntamente i 78125 microstati possibili con la loro distribuzione e le $6,665 \times 10^{24}$ traiettorie prodotte dall'unità di strategie decisionali si evince, dopo un po' di calcoli, che il sistema nella sua intelligenza per suggerire la strategia operativa ottima rispetto alle richieste dell'utente processa un numero totale di casi (micro-traiettorie) pari a $1,18 \times 10^{311}$. È evidente come innanzi a ad un tale numero di possibilità o ci si affidi al buonsenso scegliendo secondo la propria esperienza oppure ci si debba affidare ad un sistema avanzato di supporto alle decisioni come quello proposto. Il primo approccio è obbligato qualora non si possieda un modello ed un sistema come quello proposto che ha il vantaggio di trasformare in deterministica/razionale una decisione che potrebbe essere altrimenti soggettiva in un contesto che apparentemente potrebbe apparire caotico, ma che invece è solo estremamente complesso.

Un sistema come quello proposto, oltre ad essere unico, è un potentissimo strumento di analisi del territorio ed uno strumento efficace ed efficiente oltre che flessibile, multirisoluzione ed adattabile alle specifiche esigenze per il supporto alle decisioni. Un supporto che si estrinseca in un supporto decisionale, gestionale ed operativo in relazione alle esigenze manifestate, alle scelte operate ed agli obiettivi che si intende raggiungere.

Il sistema proposto a differenza dei sistemi tradizionali di supporto alle decisioni non suggerisce una decisione, bensì una strategia decisionale, ovvero un insieme di decisioni in sequenza che permettono di costruire policy di governo del territorio da un punto di vista decisionale, gestionale ed operativo.

CV breve del responsabile scientifico del cobeneficiario, Prof. Gerardo Iovane

Il prof. IASD Gerardo Iovane da oltre venti anni partecipa a diversi titoli a progetti di ricerca avanzata in ambito internazionale e collabora con rilevanti strutture nazionali ed internazionali su temi di ricerca scientifica e tecnologica estremamente challenging. E' docente di Analisi Matematica alla Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Salerno e ha tenuto diversi corsi di Matematica presso la Facoltà di Ingegneria e di Economia, nonché Tecnologie Avanzate per la Sicurezza, Biometria ed identificazione in diverse altre Università.

Dopo essersi diplomato alla Scuola Militare Nunziatella con il massimo dei voti, si è laureato con lode in Fisica Nucleare e Subnucleare.

Dopo la laurea ha svolto un master per attività di ricerca presso il CERN (Centro Europeo per la Fisica Nucleare) di Ginevra; ha conseguito poi il Dottorato di Ricerca in Fisica ed in seguito il Dottorato di Ricerca in Matematica, e poi il Dottorato di Ricerca in Ingegneria ed Economia dell'Innovazione. Rientrato in Italia è diventato prima Ricercatore Universitario in Fisica-Matematica e poi Professore Associato in Analisi Matematica presso l'Università degli Studi di Salerno.

E' stato Vicedirettore, Direttore Scientifico e Direttore Generale di tre Consorzi di Ricerca Universitari.

Nella sua qualità di esperto in modelli e metodi matematici applicati alle scienze esatte è Project Manager di diversi progetti di ricerca nazionali ed internazionali; altresì, è Direttore del Financial Computing Research Group all'Università di Salerno. Tra i diversi progetti di ricerca è stato responsabile nazionale del progetto FIRB, denominato "CASHMA" su nuovi sistemi e metodologie per la sicurezza i cui partner sono il CNR (IMATI) di Pavia, il CNR (IAC) di Roma e la multinazionale ATOS ORIGIN (ora Engineering.it).

Inoltre, il Prof. Iovane coordina un gruppo di ricerca sui temi della simulazione matematica e grafica applicati ad ambiti scientifici ed alla difesa. Dal Luglio 2005 è Esperto Scientifico Nazionale alla NATO (Research and Technology Agency) nominato al NATO Modelling & Simulation Group (NMSG) quale rappresentante italiano nel panel ET 18 "Exploiting commercial games business model&requirements definition" e nel panel ET 19 "NATO HLA working group", attualmente trasformati in TG50 e 51. E', altresì, Responsabile di Progetto e Coordinatore Scientifico di un'iniziativa per la sicurezza con il Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri, III Reparto – SM – Armamento ed Equipaggiamenti Speciali. E' Consigliere Scientifico del Comandante del C4D dello Stato Maggiore della Difesa. E' membro dell'OSN (Osservatorio Nazionale Sicurezza con sede al CeMiSS). E' Membro del Comitato Scientifico del C.e.A.S. (Centro Alti studi per la lotta al terrorismo e alla Violenza Politica), del CSSI (Centro universitario di Studi Strategici e Internazionali), Università degli Studi di Firenze, dell'ISPRI (Istituto per gli Studi di Previsione e le Ricerche Internazionali), del CERPPE (Centre européen pour les recherches de prévision), Ginevra, Svizzera. Da Luglio 2017 è il direttore della Dipartimento Ricerca e Sviluppo per l'Italia di Assoimprese.