



UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Economia
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea Magistrale per l'Economia e per l'Azienda
(Business Informatics – Curriculum Logistica)

TESI DI LAUREA

ANALISI DEI FLUSSI DI ATTIVITÀ NEI PROCESSI
AZIENDALI:
UN APPROCCIO BASATO SU AGENTI E STIGMERGIA

RELATORI

Prof.ssa Gigliola VAGLINI
Ing. Mario G.C.A. CIMINO

CANDIDATO
Alessandro LAZZERI

ANNO ACCADEMICO 2012-13

Riassunto

La tesi affronta il problema dell'analisi di flussi di attività dei processi aziendali nei contesti collaborativi. Le aziende, specialmente piccole e medie imprese, si trovano a dover collaborare tra loro per far fronte alla competizione presente nei mercati; in questi contesti la messa in comune di dati per le analisi è influenzata dagli interessi individuali di ciascuna azienda volta a mantenere i propri dati all'interno e dal dividerli per migliorare l'efficienza della rete collaborativa.

I sistemi centralizzati basati sul paradigma orientato ai servizi difficilmente risolvono questo problema.

Si propone una soluzione che prevede l'utilizzo di un sistema multi agente basato su stigmergia per indurre a partire dai flussi di attività un comportamento emergente finalizzato all'analisi delle prestazioni individuali e della rete che possa tutelare gli interessi aziendali e favorire comunque la proficua continuità del contesto collaborativo.

Indice generale

1	INTRODUZIONE	6
1.1	Presentazione del problema	6
1.2	Rassegna della letteratura	7
1.3	Contenuto della tesi	8
2	COLLABORATIVE NETWORKS	10
2.1	Definizione	10
2.2	Il contesto economico	12
2.3	Condivisione di dati, informazioni e conoscenza	16
2.3.1	La tutela dei dati personali	17
2.3.2	La tutela della concorrenza	18
2.3.3	Utilità della condivisione	19
3	ANALISI DEI FLUSSI DI ATTIVITÀ	21
3.1	La Business Process Analysis	21
3.1.1	I Key Performance Indicators	22
3.2	Sistemi informativi per le analisi	24
3.2.1	Il Service-Oriented Computing	26
3.2.2	Il Cloud Computing	28
4	SISTEMI MULTI-AGENTE E STIGMERGIA	31
4.1	I sistemi multi-agente	32
4.1.1	Agente	34
4.1.2	Ambiente	36
4.1.3	Agente software	36
4.2	Comportamento emergente	37
4.3	La stigmergia	38
5	DESCRIZIONE DEL MODELLO	41
5.1	Il Marking Agent	43
5.2	L'ambiente	46
5.3	L'Analyst Agent	53
5.3.1	Analisi Multidimensionali	58
6	SIMULAZIONE DEL MODELLO	59

6.1 Repast Symphony 2.1	59
6.1.1 Lo schedulatore: RePast Engine	59
6.1.2 Il contesto	60
6.1.3 Gli agenti	60
6.1.4 Le proiezioni	61
6.1.5 I data layers	62
6.2 Implementazione delle classi	62
6.3 Contesto della simulazione	77
6.3.1 Simulazioni	79
6.3.2 Prova di stabilità	97
7 CONCLUSIONI E LAVORI FUTURI	107
Bibliografia	109
Indice delle tabelle	110
Indice delle illustrazioni	110
Ringraziamenti	112

1 INTRODUZIONE

1.1 *Presentazione del problema*

Il contesto economico attuale è caratterizzato da incertezza ed instabilità che comportano sempre più problemi per le aziende. Le decisioni che vengono prese sia a livelli dirigenziali che operativi si devono basare su informazioni il più accurate possibili riguardo l'andamento dei processi aziendali. I sistemi informativi aziendali sono sempre più dotati di strumenti integrati per fornire indici interpretabili, sintetici ed accurati, ma nonostante questo le inefficienze restano sempre onnipresenti.

Lo sviluppo di contesti collaborativi, in cui insiemi di aziende diverse cooperano verso il raggiungimento di uno scopo comune, non fa che aumentare la complessità dei sistemi che diventano ancor più dinamici e differenziati. L'eterogeneità dei contesti rende gli approcci classici di analisi dei flussi di attività, volti all'utilizzo di database centralizzati, difficili da realizzare in quanto le circostanze variano rapidamente e i confini aziendali diventano talvolta delle barriere alla fruibilità e la trasparenza dei dati su cui si fondano i risultati delle analisi.

Il paradigma orientato ai servizi ha sicuramente permesso una migliore integrazione nei contesti distribuiti, ma manca di quella autonomia necessaria a mettere in atto comportamenti adattivi, reattivi e pro-attivi sempre più necessari per rispondere velocemente alle nuove situazioni in cui le aziende possono andare a trovarsi.

Paradigma orientato ai servizi che comunque offre una solida base di integrazione per poter diventare terreno fertile per sviluppare proprietà autonome, ovvero le proprietà che permettono di distinguere un sistema autogestito capace di modificarsi autonomamente per adattarsi al contesto senza bisogno dell'intervento umano.

Un concetto che si avvicina ad un componente autonomo è quello di agente: l'agente, con i suoi stati di credenza, le ontologie, la capacità di scegliere cosa è meglio fare in una determinata situazione e con la possibilità di apprendere dall'esperienza, è un'entità che può rappresentare con grande puntualità l'azienda ed i suoi interessi, immersa in un

mercato in cui competere non sempre è la strada più redditizia e talvolta la cooperazione può essere una via ben più fruttuosa.

Se da un lato l'agente può tutelare una singola azienda riguardo la condivisione dei dati per le analisi di un'azienda dall'altro non risolve il problema dell'ottenere risultati degli andamenti prestazionali per quanto riguarda i contesti collaborativi introdotti.

Un sistema infatti in cui agenti trattano tra loro per decidere se condividere o meno dati sarebbe solo un riflesso del sistema reale. A questo proposito entra in gioco la proprietà di comportamento emergente che viene attribuita a particolari sistemi multi agente in cui i singoli agenti che compongono il sistema riescono a mettere in atto comportamenti collettivi ben oltre la sommatoria delle singole capacità senza la presenza di forme di coordinamento diretto; in questi sistemi il coordinamento avviene attraverso modi di comunicazione indiretti come la stigmergia.

1.2 Rassegna della letteratura

In questo paragrafo si elencano i principali lavori consultati per la stesura della tesi necessari per contestualizzare il problema, individuare i caratteri necessari a definire un sistema multi-agente stigmergico che possa produrre un comportamento emergente ed infine realizzare e simulare il modello stesso.

Per la contestualizzazione del problema i principali riferimenti provengono dai lavori di *Camarinha-Matos, Asfarmanesh ed altri* in merito alle problematiche ed allo studio delle reti collaborative.[1][2][3] Altra fonte di prezioso aiuto per i dettagli delle architetture dei sistemi informativi, nel descrivere le caratteristiche ed i vantaggi da queste apportati alla gestione delle informazioni in ambiti aziendali sono stati sicuramente *Laudon e Laudon 2013* in *Management of Information Systems*. [4]

Per quanto riguarda i sistemi multi-agente i principali riferimenti vanno *Russell e*

Norvig 2010 in particolare per la descrizione del concetto di agente, ambiente ed agente software, Wooldridge 2001 in *An Introduction to Multi-Agent Systems* e Ferber 1999 in *Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence* per la definizione e la puntualizzazione delle caratteristiche dei sistemi multi-agente.[5][6]

Per la stigmergia faremo riferimento a Van Dyke Parunak 2005 in *A Survey of Environments and Mechanisms for Human-Human Stigmergy* dove viene descritta la stigmergia e varie forme in cui si presenta in natura.[7]

Per la realizzazione del modello e l'ambiente di simulazione la principale fonte è Avvenuti, Cesarini e Cimino 2013 per l'analisi della sincronia delle vogate nello sport del canottaggio. Il modello è stato riadatto per essere utilizzato in ambito economico come sistema multi-agente.[8]

1.3 Contenuto della tesi

La tesi si divide in tre parti: i Capitoli 2 e 3 introducono il problema descrivendone gli aspetti principali, i Capitoli 4 e 5 sono rivolti alla spiegazione del modello proposto ed infine i Capitoli 6 e 7 presentano una simulazione del modello con un commento dei risultati ottenuti e le conclusioni.

Il Capitolo 2 descrive il contesto del problema da un punto di vista economico, sociale e legislativo: il paragrafo 2.1 tratta delle *Collaborative Networks* che consistono in varie forme di strutture collaborative tra le quali si inseriscono anche le reti di aziende di cui si occupa il problema; nel paragrafo 2.2 viene fatta una fotografia al contesto economico con una breve descrizione dei fattori e degli eventi che hanno influito sull'evoluzione dei mercati; nel paragrafo 2.3 si descrivono alcuni fattori legali ed economici che condizionano le aziende nel processo di condivisione dei dati.

Il Capitolo 3 riassume le principali caratteristiche dei sistemi informativi aziendali utilizzati per le analisi dei flussi di attività nei processi: il paragrafo 3.1 introduce alla

Business Process Analysis ed il 3.1.1 agli indicatori chiave di prestazione o *KPI*; il paragrafo 3.2 descrive i sistemi informativi per le analisi facendo una descrizione delle caratteristiche del *Service-Oriented Computing* nel paragrafo 3.2.1 e del *Cloud Computing* nel 3.2.2.

Il Capitolo 4 è l'introduzione al modello proposto ed individua quali sono gli obiettivi che si vogliono raggiungere e le basi su cui si fonda: lo sviluppo di un *sistema multi-agente* necessita la conoscenza di alcuni prerequisiti, come il concetto di *agente*, di cui tratta il paragrafo 4.1 e sotto paragrafi, caratteristico della disciplina dell'intelligenza artificiale; il paragrafo 4.2 spiegherà il significato di *comportamento emergente* ovvero la capacità che cerchiamo di produrre attraverso le interazioni degli agenti nel nostro sistema; infine il paragrafo 4.3 descrive la *stigmergia* una forma di comunicazione alla base di molti sistemi multi-agente naturali dotati di comportamento emergente.

Il Capitolo 5 contiene la descrizione del modello che vede un sistema composto da due tipi di agenti immersi in un ambiente: il paragrafo 5.1 spiega il comportamento scelto per i *Marking Agent*, ognuno dei quali è assegnato ad un processo e rilascia nell'ambiente delle tracce che sono una rappresentazione offuscata dei dati che osserva; il paragrafo 5.2 descrive l'ambiente in cui si formano le tracce dei *Marking Agent*; infine il paragrafo 5.3 spiega come l'altro tipo agente, l'*Analyst Agent*, analizza le tracce utilizzando il concetto di baricentro e similarità per fornire informazioni agli agenti stessi e alle aziende per ricalibrare le attività nei processi.

Il Capitolo 6 contiene la realizzazione del modello e la simulazione: la piattaforma utilizzata, *Repast Symphony 2.1*, è descritta nel paragrafo 6.1 e sotto paragrafi; il codice java che implementa le classi è commentato nel paragrafo 3.1; nel conclusivo paragrafo 6.3 si effettua un test del modello prima su casi isolati poi su una sequenza temporale.

Il Capitolo 7 contiene le conclusioni della tesi a seguito dei risultati prodotti dalla simulazione.

2 COLLABORATIVE NETWORKS

In questo capitolo introduciamo le Collaborative Networks che descrivono le varie forme e le caratteristiche delle reti aziendali in cui s'inserisce il problema in oggetto di questa tesi; parliamo poi dei fattori e degli eventi economici e sociali che sono avvenuti negli ultimi anni dai quali consegue per gran parte la situazione competitiva attuale; infine facciamo una breve panoramica su alcuni aspetti di natura legale e di convenienza per quanto riguarda la condivisione dei dati.

2.1 *Definizione*

Il termine Collaborative Networks (CN) è riferito a reti composte da diverse entità per lo più autonome, distribuite geograficamente ed eterogenee in termini di ambiente operativo, cultura, capitale sociale ed obiettivi che collaborano per raggiungere obiettivi comuni o compatibili interagendo prevalentemente attraverso una rete informatica.[1] Il fattore distintivo rispetto alle altre reti riconosciuto alle CN è che le organizzazioni che operano come reti collaborative possano offrire dei vantaggi nei contesti competitivi capitalizzando le conoscenze messe in comune dai partecipanti alla rete.[9]

Le forme che possono assumere le CN (Illustrazione 1) sono un insieme eterogeneo di reti in cui si individuano delle classi che si distinguono per alcune particolari caratteristiche [2].

Una CN in cui viene stabilita una forma di organizzazione, identificando attività, ruoli, e regole, viene chiamata Collaborative Networked Organization (CNO). Le CNO si possono suddividere in due gruppi: le *Long-Term Strategic Networks* e le *Goal-Oriented Networks*.

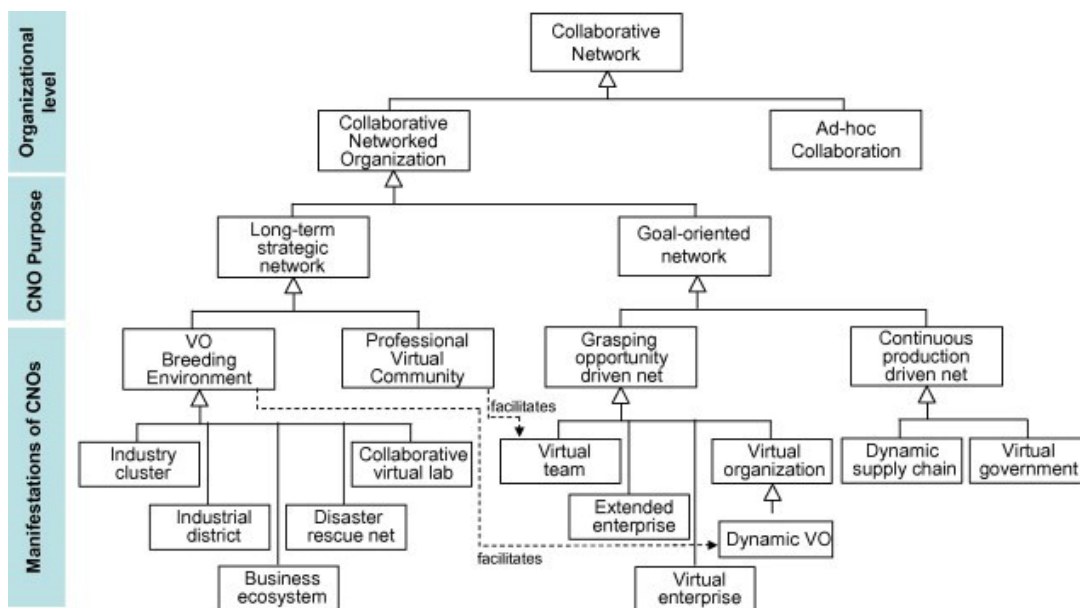


Illustrazione 1: Classi di reti collaborative, da *Classes of Collaborative Networks*[2]

Le prime sono reti strutturate per strategie di lungo periodo dove le entità si trovano ad affrontare diverse situazioni e diversi problemi nel tempo e devono ogni volta sviluppare celermente nuovi contesti collaborativi; l'obiettivo di questo tipo di reti è di offrire condizioni ed ambienti per la veloce organizzazione di reti di collaborazione da costruire nel momento del bisogno; si parla in particolare di *Virtual Breeding Environment*, specializzati per lo sviluppo di *Virtual Enterprises* e *Virtual Organizations*, e di *Professional Virtual Community* per il supporto alla formazione di reti di individui.

Le seconde sono reti indirizzate ad un preciso obiettivo che può essere di breve termine, *Grasping-opportunity driven*, o di lungo termine, *Continuous production driven net*.

I principali tipi di reti che fanno parte delle *Grasping-opportunity driven* si differenziano secondo il carattere distintivo delle entità:

- Le *Virtual Organizations (VO)*, un insieme di organizzazioni indipendenti che condividono risorse e capacità per raggiungere un obiettivo comune;
- I *Virtual Team*, che sono composti da persone;

- Le *Virtual Enterprises (VE)*, che sono un particolare sottoinsieme di *VO* le cui entità sono aziende spinte da scopi lucrativi, mentre le *VO* possono anche contenere organizzazioni non lucrative. Un ulteriore sottoinsieme, questa volta delle *VE*, sono le *Extended Enterprises* in cui un'azienda dominante estende i propri confini ad altre aziende, spesso partners o fornitori.

Il paradigma delle CN risulta interessante perché corrisponde al fenomeno organizzativo che riguarda le piccole e medie imprese (PMI) moderne. Infatti, a causa del contesto economico attuale, le PMI si sono trovate a dover competere in mercati sempre più competitivi, minacciati da concorrenza proveniente dai mercati esteri e dal sempre maggiore dominio di aziende multinazionali.

La forma collaborativa risulta uno degli strumenti che le PMI hanno avuto a disposizione per contrastare le difficoltà dei mercati e rimanere competitive, non più una contro l'altra, ma formando strutture collaborative.

I benefici derivanti riconosciuti sono: dimensioni maggiori, accesso a nuovi mercati; accesso a nuova conoscenza; condivisione dei rischi; accesso a nuove risorse; formazione di ambienti collaborativi indirizzati verso l'innovazione attraverso la combinazione di sinergie, competenze, culture ed esperienze; possibilità di concentrarsi sul proprio core business integrando le capacità e le possibilità di diverse aziende.[3]

2.2 Il contesto economico

Il contesto economico attuale è caratterizzato da incertezza ed instabilità che comportano sempre maggiori difficoltà per le aziende che si trovano a dover competere in ambienti sempre più competitivi e dinamici.

Diversi sono gli eventi che hanno prodotto questa situazione; la Banca d'Italia [10] mette in risalto tre fattori che hanno causato un aumento della concorrenzialità dei mercati ai quali il sistema economico italiano in particolare non è riuscito a rispondere con prontezza: da un lato il processo di “globalizzazione” che ha scosso i mercati a

livello mondiale; il processo di integrazione europea, culminato con l'introduzione della moneta unica; lo sviluppo di tecnologie informatiche e della telecomunicazione che hanno rivoluzionato trasversalmente società e mondo economico.

A questi tre fattori di portata mondiale vanno anche aggiunte altre problematiche interne, come la debolezza della domanda interna causata dai problemi di mercato del credito (riflesso della crisi finanziaria americana del 2007) e dalle manovre di finanza pubblica che hanno influito negativamente sui settori produttivi. La domanda interna, riporta sempre la Banca D'Italia, viene sempre più soddisfatta da prodotti importati a causa della competizione di prezzo messa in atto dalle imprese dei paesi emergenti. Il processo di globalizzazione, in particolar modo l'adesione dei paesi asiatici nell'Organizzazione Mondiale del Commercio, ha spostato l'equilibrio competitivo a favore delle imprese di paesi emergenti che, avvantaggiate da un costo della manodopera molto basso, sono andate a competere con imprese locali tecnologicamente meno avanzate e si sono trovate a combattere una battaglia sui prezzi che non potevano vincere.

Il settore industriale italiano risente fortemente di tutti questi fattori, inoltre a causa dell'introduzione della moneta unica non è più possibile favorire le esportazioni avviando politiche di svalutazione monetaria.

Ora, è stata riscontrata nelle aziende italiane, a partire almeno dal 2006, una tendenziale ristrutturazione dei processi spostando l'attenzione sulle fasi a monte ed a valle della produzione. L'incidenza del valore aggiunto sui beni venduti risulta infatti sempre meno legato da quella che è la produzione in senso stretto, ma sempre più dipendente dalle attività che precedono la produzione, progettazione, design ed innovazione, dalle attività che seguono la vendita, come servizi assistenza, manutenzione ed altri, e da attività sussidiarie, come il marketing, che vanno a integrare il semplice bene prodotto.

L'innovazione, che sia di prodotto, di processo, organizzativa o altro, sembra essere il fattore guida che caratterizza le aziende che meglio hanno risposto ai burrascosi eventi socio-economici degli ultimi venti anni. I benefici degli investimenti in innovazione

spesso prescindono l'obiettivo, talvolta singolo, verso cui sono indirizzati ma inducono un vantaggio tendenzialmente diffuso che si riflette sulle attività aziendali in senso lato. Innovazione che si è manifestata con meno forza tra le aziende italiane rispetto a quelle europee (gli investimenti in R&D sono inferiori alla media europea) a causa di un tessuto imprenditoriale composto prevalentemente da piccole e medie imprese (PMI) e da un palese ritardo nell'adozione di nuove tecnologie come le Information and Communication Technology (ICT).

Riassumiamo brevemente alcuni fattori ed eventi che influenzano il contesto introdotto:

Concorrenza

La concorrenza è data dalla presenza di più imprese che offrono sul medesimo mercato prodotti o servizi che soddisfano lo stesso bacino di acquirenti. La presenza o meno di concorrenza in un determinato mercato è condizionata da diversi fattori che dipendono dall'ambiente. Nella disciplina del marketing si parla di macro ambiente per descrivere i fattori esterni all'azienda che condizionano il microambiente, ovvero tutti quegli attori che influenzano direttamente l'azienda.

Il macro ambiente si descrive attraverso sei forze: demografiche, economiche, naturali, tecnologiche, politiche e culturali. Ai fini di questa tesi faremo alcune considerazioni sui fattori economici e tecnologici. [11]

Crisi finanziaria ed economica

Il contesto economico nel quale le aziende operano è caratterizzato da un forte instabilità dovuta in particolar alla crisi economica iniziata nel 2008 a seguito della crisi finanziaria iniziata l'anno precedente negli Stati Uniti. Il seguente aumento dei prezzi delle materie prime, guidato in prima linea dall'impennata del prezzo del petrolio, ha particolarmente colpito le economie importatrici, come appunto la zona euro, causando un drastico rallentamento dell'economia.

La prima ondata di recessione ha avuto un forte riflesso, oltre che sulle economie

private, sulle economie statali ed ha influenzato il comportamento delle imprese, degli investitori e dei consumatori spingendoli verso un atteggiamento di prudenza ed estrema cautela che ha a sua volta alimentato la crisi stessa. Si parla infatti di "crisi di fiducia".
[12]

Globalizzazione

Antecedente alla crisi abbiamo avuto la globalizzazione; per globalizzazione, diverse sono le accezioni, intendiamo il processo di caduta dei confini, politici, sociali, fisici, ed altri, che limitano mercati distanti producendone una tendenziale unificazione. La globalizzazione, come suggerisce la definizione stessa, è uno dei fattori promotori di concorrenza nei mercati più forti che si sono verificati. L'ondata rivoluzionaria di globalizzazione che ha stravolto l'economia mondiale ha tendenzialmente inizio dopo la caduta del muro di Berlino nel 1989 e vede il suo culmine con l'ingresso della Cina nel WTO (World Trade Organization). Il WTO ha l'obiettivo di favorire la riduzione delle barriere tra mercati, risolvere le dispute, aumentare gli scambi commerciali tra gli stati membri.¹

Outsourcing

Un altro fenomeno che ha influenzato il tessuto aziendale è la diffusione tra le aziende dell'esternalizzazione, o outsourcing. Il processo aziendale, sia che si concluda con la produzione di un bene che di un servizio, è composto da un insieme di attività; un'azienda ricorre all'outsourcing quando decide di cessare lo svolgimento di una o più di queste attività e si rivolge ad altre aziende per il loro adempimento. Ora, uno dei principali vantaggi è sicuramente la possibilità per un'azienda di ricorrere all'outsourcing per tutte quelle attività che sono in qualche modo sussidiarie al processo e quindi concentrarsi sulle attività principali (core business) che sono in genere quelle determinanti per il successo ed il profitto. D'altra parte, le attività svolte all'esterno devono essere integrate senza intaccare l'efficienza, l'efficacia e l'economicità del

¹ www.wto.org

processo e questo è possibile solo se si ha una corretta gestione dei flussi informativi.

Evoluzione del comportamento del consumatore

Altro fattore che incide sulla dinamicità dei mercati è l'evoluzione del comportamento del consumatore. A partire dalla fine degli anni '70 le strategie di marketing si sono evolute da una modalità product-oriented verso una modalità customer-oriented; le aziende sono passate dal concentrare la loro attenzione sul prodotto a quelle che invece sono le necessità del consumatore. [13] Ora, questo processo, unito sicuramente a come precedentemente accennato ad un aumento della concorrenzialità nei mercati causato dalla riduzione delle barriere, ha prodotto generazioni di consumatori molto esigenti. Esigenze che per essere soddisfatte richiedono un time-to-market, ovvero il tempo che intercorre dalla concezione del prodotto alla messa in commercio, veramente ristretto in modo da poter essere i primi a presentare il prodotto innovativo al consumatore.

Questo aspetto si riflette su tutta la supply chain e quindi la reattività delle aziende alle richieste ed ai bisogni del mercato, oltre ad essere necessaria nelle relazioni business-to-consumer, diventa necessaria anche nelle relazioni, sempre più presenti a causa dell'outsourcing, anche nel business-to-business.

2.3 *Condivisione di dati, informazioni e conoscenza*

Uno dei benefici dei contesti collaborativi è quello di condividere conoscenza in modo da poter migliorare le proprie prestazioni interne e potersi affidare ad altri per il reperimento di informazioni critiche. In un contesto collaborativo è necessario condividere dati, informazioni e conoscenza affinché tutti gli attori abbiano delle basi sufficienti per potere prendere delle decisioni fondate su basi il più solido possibili. Il problema che ovviamente si pone un'azienda che inizia a collaborare con un'altra è: cosa condividere e cosa no?

I fattori che incidono su questo aspetto sono principalmente due: uno di natura legale ed

uno dal punto di vista del beneficio che si può trarre dalla divulgazione o dalla riservatezza.

L'aspetto legale da considerare rispetto alla disciplina del trattamento dei dati personali, in particolare il decreto legislativo 30 giugno 2003 n° 196², e alla tutela della concorrenza, legge 10 ottobre 1990 n° 287.³

Un terzo fattore che è comunque necessario far presente riguarda la struttura della rete collaborativa: si distingue infatti tra reti gerarchiche e reti non gerarchiche.

Le reti gerarchiche sono caratterizzate da una gerarchia tra entità, in genere quindi un'entità tende a prevalere sulle altre; in questa condizione il problema di individuare delle regole per la gestione delle informazioni è meno marcato in quanto sarà l'entità dominante a prendere decisioni in materia di condivisione delle informazioni ed imporsi sulle altre.

Nelle reti non gerarchiche, ovvero quelle considerate in questa tesi, sarà invece necessario stabilire regole di processo e di controllo, supportati da una infrastruttura ICT, per evitare o ridurre al minimo la possibile nascita di conflitti.[14] Il controllo, e quindi la definizione di regole, è necessario perché favorisce l'ottimale performance collaborativa, identifica le procedure, i ruoli delle entità e degli attori e riduce le inefficienze derivanti da dispute ed incomprensioni. In questi termini, sia le regole che l'infrastruttura dovranno comunque mantenere un livello di flessibilità da permettere il mantenimento dei flussi informativi attraverso la rete, ma anche adeguarsi velocemente ai cambiamenti della rete, ovvero all'uscita o l'ingresso di entità nella rete stessa.

2.3.1 La tutela dei dati personali

In materia di trattamento dei dati personali,⁴ che consistono nei dati identificativi, dati sensibili e dati giudiziari della persona, il codice non limita le possibilità di raccolta ma

² <http://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/03196dl.htm>

³ http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1990/10/13/090G0340/sg;jsessionid=zTe1NL4Uj8-16z6mUjnJCw__ntc-as2-guri2a

⁴ <http://www.garanteprivacy.it/>

pone dei vincoli alla libertà di diffusione e comunicazione; infatti "Tutti possono liberamente raccogliere, per uso strettamente personale, dati personali riguardanti altri individui, a patto di non diffonderli o comunicarli sistematicamente a terzi".⁵ Risulta quindi necessario in un contesto collaborativo stabilire delle regole ben definite, sia per le entità che partecipano direttamente alla rete sia per eventuali terzi che pur non facendone parte hanno dei contatti indiretti, per quanto riguarda la trasparenza, la correttezza e le finalità di come i dati andranno ad essere impiegati.

2.3.2 La tutela della concorrenza

Per quanto riguarda la concorrenza la legge tutela imprese e cittadini da quei comportamenti che possono essere adottati dalle aziende in modo da raggiungere posizioni di vantaggio lesive delle corrette e fisiologiche condizioni dei mercati; la legge vieta infatti che le imprese possano accordarsi su intese anticoncorrenziali, che abusino della propria posizione dominante o che sviluppino forme di concentrazione dannose della concorrenza.^{6 7} Ora, seppur sia obiettivo stesso della rete collaborativa quello di creare valore aggiunto per mezzo della cooperazione delle entità, il mettere in atto azioni che possano rientrare nella disciplina della concorrenza sleale rientra in una situazione che può sembrare analoga ma resta comunque ben diversa. Resta pur sempre una eventualità concreta che in un contesto collaborativo si verifichino flussi informativi, ad esempio relativi alla applicazioni di prezzi o tariffe ai propri clienti, che pur non essendo previsti in quanto non funzionali alla normale attività possano diventare causa di comportamenti sleali, anche se taciti.

In entrambe le situazioni sopra citate deve essere effettuata una pianificazione del sistema informativo, e di conseguenza di quello informatico, che riduca al minimo eventuali eventi, volontari o involontari, ma comunque contrari alle leggi.

5 <http://www.garanteprivacy.it/>

6 <http://www.agcm.it/normativa.html>

7 http://europa.eu/pol/comp/index_it.htm

2.3.3 Utilità della condivisione

Ogni azienda deve avere una serie di regole, dette *information policy*, che vincolano la condivisione, disseminazione, acquisizione, standardizzazione, classificazione e l'inventariazione delle informazioni.[4]

Il problema della decisione riguardo la condivisione di dati è composto da diversi fattori: economici, sociali, psicologici, situazionali, culturali ecc ecc.

Dato che non è obiettivo di questa tesi porre rimedio nell'identificare criteri di valutazione del valore di un dato da mettere a disposizione delle aziende per decidere se condividere o meno, ci limiteremo ad un'analisi degli aspetti principali che riguardano il vantaggio economico.

In un contesto collaborativo la scelta della condivisione dei dati verte sul bilanciamento di due interessi della singola azienda:

- il proprio business nella sua singolarità;
- il business dal punto di vista della rete;

La condivisione totale delle informazioni di tutte le aziende partecipante è sicuramente la situazione che permetterebbe una migliore analisi delle prestazioni dell'intero sistema offrendo ai dirigenti delle basi solide sulle quali fondare le proprie decisioni, a livello operativo, tattico e strategico, sia dal punto di vista individuale che collettivo.

Parimenti, la condivisione delle informazioni non è perfetta a causa dell'interesse delle singole aziende che mettono in primo piano il proprio business e non quello della rete. Infatti, se pur in un contesto collaborativo, le aziende partecipanti saranno restie a condividere informazioni la cui diffusione potrebbe comportare la perdita di vantaggi competitivi che hanno individualmente verso altre aziende (che possono essere sia partecipanti alla CN che esterne) pur mettendo a rischio l'ottimizzazione dell'obiettivo comune.

In questa ottica possiamo immaginare che un dato potrà essere condiviso tanto minore è il valore che ha per l'azienda, ovvero quando la sua pubblicità non lede il vantaggio competitivo derivante dall'esserne il conoscitore esclusivo.

Per fare un esempio, supponiamo in un contesto di supply chain in cui diverse aziende per i servizi di logistica esterna si rivolgono a diversi trasportatori. Assumendo una omogeneità per quanto riguarda le tipologie di servizio consideriamo una valutazione dei trasportatori esclusivamente dal punto di vista del prezzo: un'azienda che si affida a due trasportatori di cui il primo ha un prezzo A ed il secondo B con $A \ll B$ avrà due pesi per quanto riguarda il valore dell'informazione riguardo l'utilità che questi comportano. Il sapere che il primo trasportatore offre servizi ad un prezzo inferiore rispetto al secondo è infatti un vantaggio competitivo e la condivisione di questa informazione con altre aziende implicherebbe la perdita di questo vantaggio rispetto a quelle che non avevano il dato. Tendenzialmente possiamo dedurre che l'azienda sarà più incline a divulgare dati riguardo i servizi di trasporto ricevuti da B rispetto che A e questo perché la condivisione al livello collaborativo non farà perdere vantaggio competitivo ma aggiungerà informazioni utili per le altre aziende, in questo caso riguardo un fornitore più costoso, permettendo il miglioramento delle prestazioni collettive.

3 ANALISI DEI FLUSSI DI ATTIVITÀ

L'analisi dei flussi di attività nei processi è uno dei fattori chiave per garantire alle aziende una solida base per il raggiungimento ed il mantenimento di livelli prestazionali adeguati per perseguire i propri obiettivi, nonché per permettere ai dirigenti di compiere decisioni sia a livello operativo, che tattico e strategico.

I criteri che vengono individuati per monitorare l'andamento dei processi sono definiti come indicatori chiave di prestazione, o KPI.

3.1 *La Business Process Analysis*

La disciplina che si occupa di sviluppare i processi per far sì che questi corrispondano alle esigenze dell'azienda è la *Business Process Analysis*.

Un processo aziendale è un insieme di attività che prendendo in ingresso un insieme di risorse di input generano come output un prodotto. Per attività si intende un'operazione atomica, che non può essere scomposta, e durante la quale non avviene nessun processo decisionale. L'insieme di risorse possono essere di diverso genere, come materie prime, capitale, risorse umane, ore macchina, know-how, brevetto ecc ecc. Il prodotto di un processo può essere a scopo interno, per l'azienda stessa, o esterno, per un cliente, e può consistere un prodotto o un servizio.

L'analisi dei processi aziendali consiste quindi nel monitorare i flussi di input ed output che attraversano ogni attività che viene svolta durante tutte le fasi lavorative calcolando degli indicatori chiavi di prestazione per avere un parametro di valutazione sintetico.

L'analisi dei processi viene fatta durante due fasi: il *design* e durante il *runtime*. [15]

La fase di *design* si svolge come dice il termine stesso prima della messa in esecuzione dei processi. Questa fase è importante per pianificare i processi aziendali prima di

metterli in atto in modo da evitare di avere un avvio di attività sotto prestazione e quindi deludere i clienti ed avere un calo di fiducia. L'analisi consiste in tre parti:

- **Validation:** effettuare delle simulazioni su diversi modelli per controllare che il comportamento dei processi coincida con quello pianificato;
- **Verification:** stabilire la correttezza della definizione dei processi;
- **Performance Analysis:** valutare se i processi riescono a soddisfare i rispettivi requisiti in funzione dei KPI individuati dai dirigenti;

L'analisi durante il *runtime*, che è quella su cui ci concentriamo nell'ottica della tesi, consiste nel monitorare i flussi di attività che vengono svolte durante i processi quando la produzione di beni o l'erogazione di servizi è a regime.

3.1.1 I Key Performance Indicators

Gli indicatori chiave di prestazioni (KPI) sono degli indici sintetici qualitativi e quantitativi che misurano i risultati aziendali conseguiti. I valori che assumono i KPI consistono in criteri di riferimento per avere dei feedback sull'andamento delle attività e dei processi aziendali in funzione degli obiettivi che i manager hanno pianificato di raggiungere. La scelta dei KPI da monitorare dipende dalle caratteristiche dell'azienda stessa, dall'organizzazione e dagli obiettivi prefissati ed è spesso affidata all'esperienza dei manager e degli analisti in quanto calcolare i KPI è un processo costoso ed è quindi preferibile essere selettivi e mirati nella loro scelta. L'individuazione dei KPI è un processo di tipo top-down, ovvero a partire dagli obiettivi dell'azienda e dai fattori critici di successo (CSF) si deducono gli indicatori da tenere sotto controllo e i livelli di questi indicatori che devono essere mantenuti per consentire il raggiungimento degli obiettivi desiderati (Illustrazione 2).

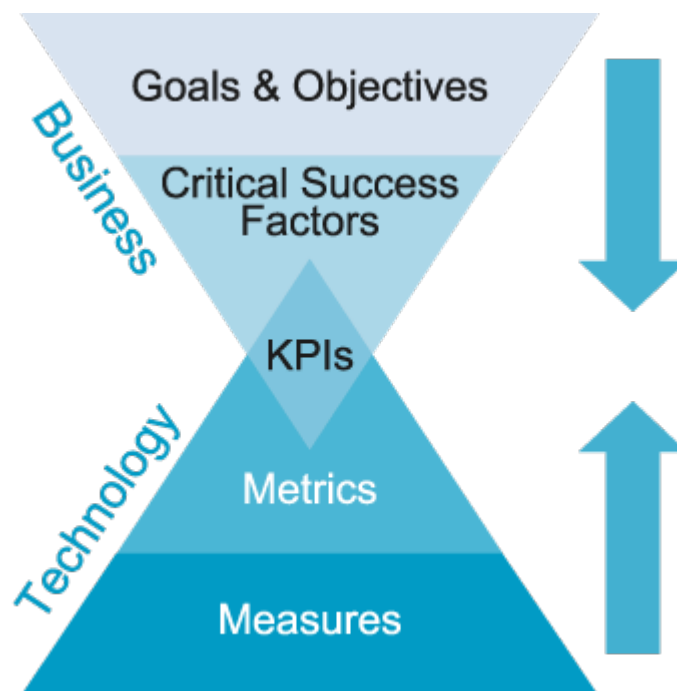


Illustrazione 2: I KPI tra obiettivi e misure, da <http://unilytics.com/services/kpi-karta>

Un KPI deve essere:

- Rilevante: collegato agli obiettivi operativi, tattici e strategici;
- Semplice: deve essere facilmente interpretabile e sintetico;
- Integrato: deve bilanciare diversi aspetti: quantitativi, qualitativi, finanziari, temporali ecc ecc;
- Flessibile: adattabile al contesto;
- Accessibile: deve poter essere calcolato con relativa facilità e tempestività;
- Affidabile: deve rispecchiare il più possibile la realtà;

Il calcolo dei KPI, per esempio rispetto ad un'attività, può essere fatto a seconda delle misure che si possono avere a disposizione riguardo all'attività in oggetto; i fattori che compongono un KPI sono quindi tre:

- gli input dell'attività;
- gli output dell'attività;
- le misure che descrivono l'attività;

Si distinguono diversi tipi di KPI:

- generali: misurano il volume del lavoro del processo;
- qualità: misurano la conformità degli output con le attese e gli standard definiti;
- efficienza: misurano la produttività ed i costi unitari dei prodotti;
- servizio: misurano i tempi di risposta;

Per fare un esempio di alcuni KPI prendiamo un caso di un'azienda di trasporto merci che vuole avere degli indicatori riguardo le proprie performance sulle consegne effettuate.

KPI Trasporto	Tipo	Metrica	Formula
Spedizioni mensili	Generale	Numero	Conteggio
Costo medio spedizione	Efficienza	€/spedizione	$\frac{\text{Costo totale spedizioni}}{\text{Numero spedizioni}}$
Errori consegna	Qualità	Percentuale	$\frac{\text{Consegne errate}}{\text{Consegne effettuate}}$
Servizio	Puntualità	Percentuale	$\frac{\text{Consegne puntuali}}{\text{Consegne effettuate}}$

Tabella 1: Alcuni KPI Per il trasporto

3.2 Sistemi informativi per le analisi

I sistemi informativi sono un insieme di elementi interconnessi che raccolgono,

elaborano, memorizzano e distribuiscono informazioni per supportare le attività decisionali e di controllo di un'azienda.[4]

All'interno di un'azienda si inseriscono diversi tipi di sistemi informatici per supportare le attività ed i processi (Illustrazione 3): sistemi transazionali (TPS), sistemi di gestione delle informazioni (MIS), sistemi di supporto alle decisioni (DSS) e sistemi di supporto alle decisioni dei senior manager (ESS).

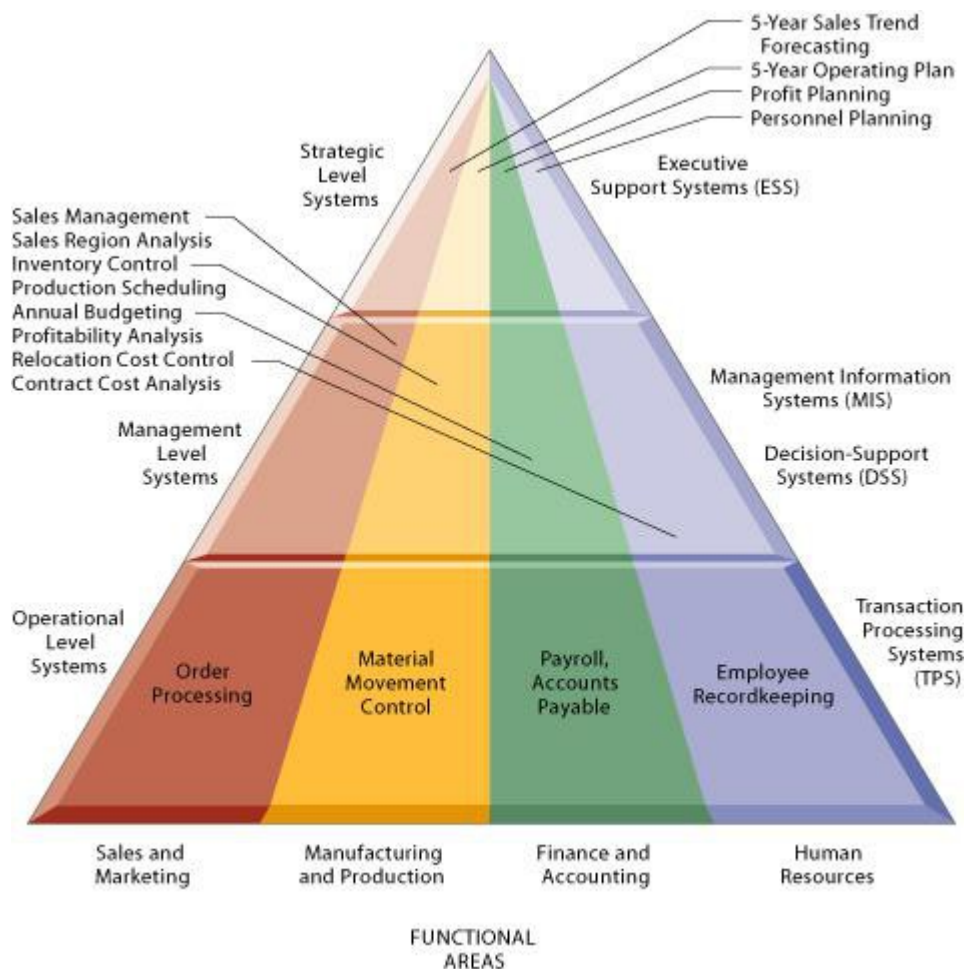


Illustrazione 3: Sistemi informativi nelle aziende, Management dei Sistemi Informativi

L'integrazione di questi sistemi avviene implementando delle applicazioni aziendali (Enterprise applications) che coprono gli aspetti delle diverse aree funzionali ponendo l'attenzione sull'esecuzione dei processi attraverso tutta l'azienda. L'interoperabilità di questi sistemi permette una maggiore flessibilità e produttività per mezzo di un miglior

coordinamento dei processi sia in senso orizzontale, ovvero seguendo il workflow delle attività, sia in senso verticale per quanto riguarda i flussi informativi dallo strato operativo a quello tattico e poi strategico e viceversa.

I software aziendali (Software Enterprise) sono delle collezioni di applicazioni e strumenti per il supporto delle attività aziendali che si basano su insiemi di moduli componibili a seconda dell'applicazione aziendale necessaria al contesto aziendale da modellare.

Alcuni dei principali fornitori di software aziendali sono SAP, IBM, HP, Oracle, Microsoft ed altri.

Ora, dato che i software aziendali hanno un ruolo protagonista nell'analisi dei flussi di attività dei processi aziendali faremo delle considerazioni che li riguardano nell'ottica del problema affrontato in questa tesi.

Da un lato i software aziendali in commercio si basano fondamentalmente sul paradigma della programmazione service-oriented che ha sicuramente comportato benefici all'integrazione delle applicazioni aziendali.

Dall'altro negli ultimi anni si è sempre maggiormente diffuso l'utilizzo del cloud computing come forma per ottenere servizi informatici in modo flessibile senza dover impiegare ingenti investimenti di risorse specialmente nelle fasi iniziali di avvio attività.

3.2.1 Il Service-Oriented Computing

Il service-oriented computing è un paradigma di programmazione per permettere l'interoperabilità di applicazioni distribuite su una rete. L'unità fondamentale sul quale si basa è il *servizio* ovvero un'entità autonoma che può essere scoperta ed invocata ed è auto descritta e indipendente dalla piattaforma.[16]

L'utilizzo dell'architettura service-oriented permette alle aziende di sviluppare l'interoperabilità tra sistemi condivisi e consentire l'utilizzo delle singole applicazioni in modo integrato e flessibile garantendo flessibilità in linea con la variabilità dei mercati.⁸

Un'architettura orientata a servizi si basa su tre entità ed altrettante relazioni che le legano tra loro.

Le entità sono:

- Service Provider: soggetto che mette a disposizione il servizio;
- Service Consumer: soggetto che utilizza il servizio;
- Service Registry: registro dove sono indicati le localizzazioni dei servizi

Le relazioni:

- Find: il consumer interroga il registry per cercare i servizi di cui ha bisogno;
- Register: il provider registra nel registry il proprio servizio;
- Bind and Execute: il consumer effettua il binding del servizio che vuole utilizzare e lo può poi invocare;

Le principali caratteristiche distintive dell'architettura orientata a servizi sono le seguenti:⁹

- Loose coupling: il legame debole permette di mantenere il più possibile le dipendenze tra quello che è l'aspetto interno dell'implementazione del servizio e l'aspetto esterno di come questo viene invocato ed utilizzato;
- Reusability: i servizi sono costruiti in modo da essere utilizzati più volte;
- Modularity: i servizi sono modulari in modo da permettere l'implementazione singolarmente;

⁸ [Http://www.soa-manifesto.org](http://www.soa-manifesto.org)

⁹ http://www.opengroup.org/soa/source-book/soa/soa_features.htm

- Composability: conseguenza della modularità è la possibilità di comporre servizi complessi a partire da servizi modulari;
- Stateless: i servizi sono tendenzialmente privi di stato in modo da rendere l'invocazione una transazione atomica;
- Findability: come descritto prima nell'architettura i servizi possono essere cercati nei registri e quindi scoperti;

3.2.2 Il Cloud Computing

Con il termine cloud computing si intende un complesso sistema di tecnologie software ed hardware messe a disposizione da un provider ad un cliente sotto forma di servizi per memorizzare ed elaborare dati ed informazioni.[17]

Il sistema del cloud computing prevede l'interazione di tre soggetti:

- Fornitore di servizi o cloud provider: Mette a disposizione un insieme di servizi;
- Cliente amministratore: Seleziona i servizi del fornitore e configura, talvolta con applicazioni ad hoc, i servizi in oggetto;
- Cliente finale: talvolta coincide con il cliente amministratore, ed è l'utilizzatore vero e proprio;

In genere il cloud provider prepara delle interfacce per esporre i servizi che mette a disposizione in modo che l'amministratore possa selezionare e configurare i servizi richiesti da fornire al cliente finale.

I servizi offerti possono essere divisi in cinque categorie di cui le tre principali:

- Software as a Service (SaaS): il cliente finale utilizza dei programmi software installati su server remoti del provider;
- Data as a Service (DaaS): il provider mette a disposizione dati come se questi

fossero memorizzati su un supporto locale del cliente, mentre invece si trovano in remoto sui server del provider;

- Hardware as a Service (HaaS): in questo servizio il provider mette a disposizione potenza di calcolo delle proprie macchine al cliente che può inviare dati, far effettuare al provider le elaborazioni e poi ricevere i risultati;

e due secondarie:

- Platform as a Service (PaaS): in questo caso il provider mette a disposizione intere piattaforme software costituite da più programmi;
- Infrastructure as a Service (IaaS): consiste nell'utilizzo di risorse hardware in remoto, distribuite analogamente al grid computing su diverse macchine che operano come un'infrastruttura di calcolo distribuito;

Vantaggi:[4]

- Servizi on-demand: l'utilizzatore ottiene esclusivamente i servizi di cui ha bisogno, sia per quanto riguarda lo spazio occupato per la memorizzazione dati, che per la potenza di calcolo utilizzata, che per i servizi ed i software a disposizione;
- Ubiquità dell'accesso: l'accesso alle risorse prescinde dall'entry point in quanto è ormai possibile tramite la rete internet raggiungere i server dei provider da praticamente tutti i dispositivi sia fissi che mobili;
- Insieme di risorse localizzate indipendentemente: le risorse che permettono al provider di fornire i servizi offerti sono localizzate in modo indipendente tra loro senza precludere le condizioni di qualità promesse. L'utilizzatore non ha conoscenza riguardo la localizzazione delle risorse e di come queste operino al di là dell'interfaccia pubblicizzata dal provider;
- Elasticità: le risorse a disposizione dell'utilizzatore sono flessibili alle necessità e possono essere adattate in modo veloce e reattivo;

- Pay-per-use: l'utilizzatore in genere paga per quante risorse consuma, sia per quanto riguarda lo spazio occupato per la memorizzazione dati, che per la potenza di calcolo utilizzata, che per i servizi ed i software a disposizione;

Uno dei grandi vantaggi che quindi comporta l'utilizzo del cloud computing è quello di non dover sostenere degli investimenti consistenti in fase di avvio o di ammodernamento della propria infrastruttura IT in quanto è possibile ottenere questi servizi da provider specializzati.

Il principale problema dell'utilizzo del cloud computing è invece la sicurezza informatica e la privacy dei dati trasmessi.[4] Il fatto che i dati del cliente vengano memorizzati sui supporti del provider comporta:

- perdita d'indipendenza per quanto riguarda l'attività aziendale in quanto aumenta la dipendenza dal fornitore di servizi;
- rischio di diffusione dei dati per comportamenti scorretti del provider e spionaggio industriale;
- rischio di sicurezza dei dati in quanto questi vengono trasmessi sulla rete;
- problemi di tutela legale della privacy per i dati trasmessi che spesso riguardano terzi soggetti;

4 SISTEMI MULTI-AGENTE E STIGMERGIA

"Con i sistemi di grandi dimensioni che comprendono molte migliaia di dispositivi in rete, i sistemi di computer sono diventati così complessi che oggi alcuni esperti ritengono che essi non potranno essere gestibili in futuro. Un approccio per affrontare questo problema è di impiegare l'*autonomic computing*." [4]

L'*autonomic computing* è stato introdotto da IBM nel 2001 per progettare sistemi informatici distribuiti capaci di autogestirsi ed essere quindi reattivi ai cambiamenti imprevedibili dei contesti nei quali sono inseriti.¹⁰ Lo scopo è di progettare sistemi che non debbano essere controllati direttamente dall'utente ma che si possano autogestire attraverso grazie a delle politiche generali che regolano i processi.

Un componente autonomico, ovvero un entità che fa parte di un sistema autonomico, deve rispondere delle seguenti proprietà:

- auto-configurazione: configurazione automatica dei componenti;
- auto-riparazione: identificazione e correzione automatica degli errori;
- auto-ottimizzazione: monitoraggio e controllo automatico delle prestazioni rispetto ai requisiti;
- auto-protezione: individuazione pro attiva dei problemi;

Il concetto di *agente intelligente*, [6] che deriva dalla disciplina dell'intelligenza artificiale, ha tutte le caratteristiche per adempiere ai requisiti di un sistema autonomico.

Se quindi affidiamo il ruolo di componente autonomico ad un agente intelligente un sistema autonomico è un insieme di agenti intelligenti, meglio noto come *sistema multi-agente*. [5]

¹⁰ <http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246635.pdf>

Il paradigma ad agenti è sempre più considerato come una delle tecnologie più interessanti per supportare le architetture orientate su servizi che come abbiamo visto sono quelle che caratterizzano gran parte del panorama dei software aziendali. La tecnologia agente, oltre ad essere un meccanismo ideale per implementare sistemi complessi, è adatta ad applicazioni centrate sulla comunicazione sulla base di sistemi computazionali distribuiti e di sistemi informativi che richiedono componenti autonome facilmente adattabile alle modifiche.[18]

4.1 I sistemi multi-agente

Un sistema multi-agente (MAS) è una rete debolmente interconnessa di risolutori di problemi (agenti) che lavorano insieme per risolvere problemi che sono al di là delle capacità o della conoscenza di ogni singolo risolutore.[5]

I MAS sono utilizzati per studiare sistemi complessi in cui il comportamento emergente del sistema prescinde quelle che sono le caratteristiche e le capacità dei singoli agenti che lo compongono.

Per quanto riguarda questa tesi il concetto di MAS sarà applicato ad agenti software, di cui parleremo più avanti, ma i MAS sono stati utilizzati in campi molto eterogenei per spiegare diversi fenomeni relativi alla biologia, alle scienze sociali ed altri.

Un MAS è composto da diversi elementi:[19]

- un ambiente: il mezzo nel quale sono contenuti gli agenti e gli oggetti;
- gli oggetti: elementi passivi posizionati nell'ambiente;
- gli agenti: elementi attivi presenti nell'ambiente;
- un insieme di relazioni che legano oggetti, agenti ed ambiente;
- un insieme di operazioni a disposizioni degli agenti per interagire con l'ambiente, gli oggetti ed altri agenti;

Per gli agenti si individuano tre aspetti:

- **Autonomia:** l'agente è autonomo nello svolgimento di quelli che sono i propri compiti ed obiettivi, che possono prescindere quello che è l'obiettivo del sistema nella sua interezza;
- **Vista locale:** l'agente non ha una visione complessiva di tutto l'ambiente e non ha conoscenza dello stati di tutti gli altri agenti presenti nel sistema; ogni agente ha infatti una visione locale di quello che lo circonda;
- **Decentralizzazione:** il coordinamento degli agenti non è delegato a nessun agente specifico, ma emerge dalle singole azioni; possono comunque essere presenti agenti con obiettivi diversi, che possono influenzare altri agenti, ma nessun agente ha comunque un compito di pianificazione totale sull'intero sistema;

Le interazioni tra agenti possono portare a due tipi di comportamenti:

- **Concorrenza,** se gli agenti hanno contemporaneamente bisogno di una stessa risorsa;
- **Collaborazione,** se gli agenti hanno necessità di agire assieme per portare a termine il proprio obiettivo;

La condizione di Collaborazione dipende quindi dalla presenza o meno dall'esistenza di relazioni di dipendenza che legano gli agenti;[5] in condizioni di indipendenza gli obiettivi degli agenti sono sconnessi gli uni dagli altri e gli agenti li possono portare a termine senza dover cooperare, altrimenti siamo in presenza di relazioni di dipendenza che possono essere classificate in:

- **Unilaterale:** A dipende da B, ma B non dipende da A;
- **Mutua:** A e B dipendono l'uno dall'altro per raggiungere il medesimo obiettivo;
- **Reciproca:** A e B dipendono l'uno dall'altro per raggiungere obiettivi diversi;

Il concetto di dipendenza è un'informazione che può essere disponibile all'agente in due diverse forme:

- Consapevolezza locale: A sa che dipende da B per raggiungere il proprio scopo, ma non è a conoscenza se B ha la consapevolezza della sua dipendenza;
- Consapevolezza reciproca: A sa che dipende da B per raggiungere il proprio scopo, ma è probabile che B sia a conoscenza della sua dipendenza;

Per fare un esempio, Wikipedia è un'enciclopedia multimediale che viene prodotta da un MAS in cui ogni persona, che corrisponde ad un agente, aggiunge tasselli d'informazione in modo autonomo rispetto agli altri; nessuno ha una conoscenza totale della struttura di Wikipedia, ovvero l'ambiente, e nemmeno di come si comportano le altre persone che creano a loro volta nuovi contenuti; non vi è coordinamento tra persone che aggiungono o modificano le informazioni presenti. In conclusione però, la struttura emergente ha delle caratteristiche eccezionali rispetto alle singole capacità delle persone che vi collaborano.

I MAS sono quindi coerenti per rappresentare il contesto collaborativo aziendale introdotto: le aziende all'interno di una rete collaborativa (non gerarchica) hanno infatti una visione parziale dall'ambiente, agiscono sempre e comunque nel proprio interesse cercando di massimizzare la propria utilità e per potendo mettere in atto piani di gruppo inter-aziendali la dinamicità e l'incertezza del mercato possono rendere obsoleti tali piani in modo talmente veloce che è necessaria una continua ricalibrazione del sistema.

4.1.1 Agente

Il concetto di agente a cui facciamo riferimento deriva dalla disciplina dell'intelligenza artificiale per descrivere un'entità capace di percepire l'ambiente esterno attraverso dei sensori ed eseguire delle azioni attraverso gli attuatori (Illustrazione 5).[6] Un agente è quindi definito da:

- sensori: permettono di percepire l'ambiente e quindi di acquisire informazioni sullo stato esterno;
- attuatori: permettono di agire sull'ambiente o su altri agenti;
- stato interno: permette di scegliere quale azione mettere in atto;

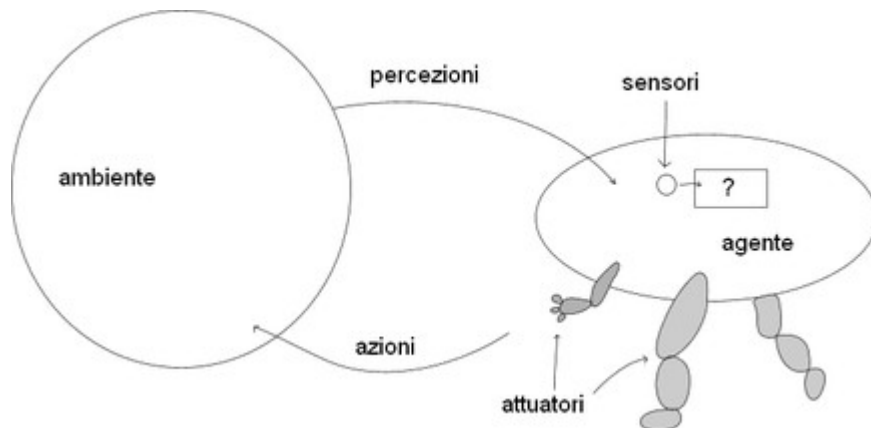


Illustrazione 4: Rappresentazione di un agente, Artificial Intelligence: A Modern Approach

L'insieme di percezioni che l'agente acquisisce col passare del tempo crea una sequenza percettiva; un agente è completo se per ogni istante della sequenza percettiva è definita un'azione da compiere. Il comportamento dell'agente deriva da una funzione agente che associa ad ogni istante della sequenza percettiva l'azione corrispondente. La funzione agente è una descrizione matematica astratta, talvolta computazionalmente incalcolabile, che viene implementata concretamente da un programma agente.

L'intelligenza dell'agente è intesa come "fare la cosa giusta al momento giusto": ogni agente infatti effettua una misura di prestazione attraverso la quale valuta le possibili azioni, la sequenza di stati attraversata e le percezioni catturate per scegliere la successiva azione da mettere in atto; un agente è quindi definito intelligente, o razionale, se sceglie l'azione che è effettivamente più efficace rispetto alle altre, ovvero

che effettivamente massimizza la prestazione. La scelta dell'azione dipende quindi da:

- la struttura interna
- la conoscenza a priori dell'ambiente
- la sequenza di percezioni ed azioni pregressa
- le capacità dell'agente messe a disposizione dagli attuatori

4.1.2 Ambiente

L'ambiente è l'astrazione del problema di cui l'agente, o gli agenti, è il mezzo risolutore. Le caratteristiche intrinseche dell'ambiente sono quindi dipendenti dal problema; possiamo comunque elencarne le proprietà generali che devono essere tenute sempre di conto.

L'ambiente può essere:

- Completamente/parzialmente osservabile
- Deterministico/stocastico
- Episodico/sequenziale
- Statico/dinamico
- Discreto/continuo
- Agente singolo/multi-agente
- Noto/ignoto

4.1.3 Agente software

Un agente software è consiste in un programma che implementa la funzione agente ovvero che rappresenta nel modo più accurato possibile tutte le coppie stato azione che possono generarsi nell'evoluzione dell'ambiente in cui è immerso l'agente e delle

situazioni che si possono presentare. [6]

Il tipo di programma agente individua un tipo di agente. Si parla di:

- agenti reattivi: sono gli agenti più semplici in cui la percezione è un stimolo che produce un'azione;
- agenti basati su modello: sono agenti più complessi in cui sono presenti uno o più stati interni che possono essere modificati dalle percezioni e dai quali consegue l'azione;
- agenti con obiettivo: la funzione obiettivo è un mezzo utilizzato dall'agente per valutare la bontà di uno stato; l'azione verrà selezionata cercando di massimizzare (o minimizzare) il risultato della funzione;
- agenti con funzione d'utilità: un agente può avere più obiettivi, talvolta concorrenti, dei quali non sempre tutti possono essere portati a termine; la funzione di utilità esprime una valutazione in rapporto al raggiungimento dei vari obiettivi;
- agenti con apprendimento: questo tipo di agenti sono caratterizzati da un modulo interno ulteriore ad uno dei precedenti che permette di incrementare la conoscenza e l'esperienza dell'agente stesso mano a mano che esegue azioni nell'ambiente;

4.2 Comportamento emergente

Siamo in presenza di un comportamento emergente quando una collettività di entità manifesta delle proprietà che prescindono le capacità dei singoli individui. Il realizzarsi del comportamento emergente è scaturito dalla presenza di interazioni non lineari tra i componenti del sistema e questo rende imprevedibile la previsione di tali comportamenti, ma soprattutto la percezione è possibile solo da un osservatore esterno, che ne può visionare la completezza, mentre non è prescindibile dalle entità interne che hanno una cognizione locale e quindi parziale del complesso.

I comportamenti emergenti sono presenti in tantissimi sistemi: biologici, sociali, economici, fisici ecc ecc.

Dal punto di vista dei sistemi ingegneristici per quanto non sia possibile prevedere a priori quale potrà essere e se ci sarà un comportamento emergente, dato un sistema di entità che interagiscono tra loro secondo un insieme definito di regole sono ormai disponibili ambienti di simulazione (Repast, Netlogo, Swarm, Jade ecc.ecc.) per verificarne e testarne la realizzabilità.

4.3 La stigmergia

La stigmergia è una forma di comunicazione indiretta in cui lo scambio di informazioni tra individui avviene attraverso l'ambiente e non da individuo ad individuo come nella comunicazione diretta. È stata introdotta dal biologo Pierre-Paul Grassé nel 1959 per descrivere il comportamento delle termiti in merito al metodo di coordinamento utilizzato per la costruzione del nido: le termiti infatti, pur mettendo in atto comportamenti individualmente semplici riescono a costruire dei nidi dalle caratteristiche molto complesse. La stigmergia permette di spiegare come nei sistemi distribuiti possono emergere dei pattern funzionali messi in atto da azioni individuali pur in assenza di pianificazione e controllo, ovvero di comunicazione diretta tra gli attori per coordinarsi nel raggiungimento di un obiettivo.

Le termiti, come la maggior parte degli insetti, utilizzano tracce di feromone per coordinarsi: la termite scava piccole palline di fango, le copre di feromone e le lascia nel terreno; le termiti tendono a lasciare le palline vicino a tracce di feromone, ovvero vicino ad altre palline di fango. In questo modo riescono a scavare gallerie, costruire pilastri ed archi nei loro nidi.

L'esempio permette di introdurre i due concetti chiave della stigmergia individuati sempre da Grassé: gli stimoli prodotti dal singolo individuo e gli stimoli prodotti dal gruppo di individui diventano induttori di comportamenti negli altri individui. Questa è la principale caratteristica degli ambienti stigmergici: i singoli si influenzano a vicenda

generando dei comportamenti di massa che a loro volta inducono dei comportamenti nei singoli e questo processo ha l'effetto di riorganizzare l'ambiente producendo a sua volta nuove situazioni.

Per quanto la stigmergia sia collegata al mondo degli insetti è utilizzata anche da altre forme animali, uomo compreso. Pensiamo a quando entrando in un bosco imbocchiamo un sentiero; nessuno ha lasciato indicazione di seguire quel percorso, ma il fatto che le persone prima di noi abbiano seguito quello stesso sentiero, calpestando l'erba e piegando i rami, ovvero modificando l'ambiente, è per noi un'informazione che guida i nostri passi e il nostro stesso seguire la traccia lasciata da altri prima di noi rinnova l'informazione per le persone che in futuro entreranno nel bosco. Altri esempi sono Wikipedia, ecc ecc

Gli elementi fondamentali che devono sussistere perché si manifesti un comportamento riguardano due fattori:[7]

- Agenti: gli agenti immersi nell'ambiente devono poter percepire ed interagire con l'ambiente, ovvero devono avere tre attributi:
 - Percettori: per ricevere gli stimoli;
 - Attuatori: per agire;
 - Modello interno: per selezionare l'azione da effettuare con gli attuatori in base alle percezioni;
- Ambiente: in un ambiente stigmergico l'ambiente è tutt'altro che passivo, ma è attivo. Nell'esempio del sentiero, se questo non viene percorso per molto tempo la vegetazione piano piano riprenderà a crescere e le tracce svaniranno. Lo stesso avviene con i feromoni lasciati dagli insetti, che col tempo si dissolvono e perdono efficacia. L'informazione nella stigmergia non è infatti qualcosa di statico ma è soggetta a decadimento, ovvero ha una validità nel tempo.

In natura si distinguono quattro forme di stigmergia determinate da due caratteristiche binarie: [7]

- Attenzione dell'agente:
 - *marker-based*: gli agenti utilizzano gli stimoli percepiti;
 - *sematectonic*: gli agenti sono guidati da un obiettivo interno;
- Tipologia di segnale:
 - *quantitativo*: basato sulla quantità di segnale presente nell'ambiente, per esempio su un unico tipo di feromone rilasciato in diverse quantità;
 - *qualitativo*: basato su combinazione di diversi segnali, ad esempio diversi feromoni;

Per quanto riguarda la stigmergia basata sui *marker* le termiti stesse utilizzano un criterio quantitativo per scegliere dove depositare la propria pallina di fango, ovvero dove trovano maggior quantità di feromone, allo stesso tempo però utilizzano il criterio qualitativo per regolare i meccanismi sociali tra famiglie e caste di termiti.

La stigmergia guidata da *obiettivo* di tipo quantitativo si denota nel comportamento delle formiche per l'organizzazione dei cimiteri: le formiche morte vengono accumulate seguendo la distribuzione dei corpi nel cimitero. Per quella di tipo qualitativo è stato riscontrato che i lupi, quando durante la caccia accerchiano un animale, si dispongono bilanciando da un l'istinto di attrazione verso la preda, dall'altro una forma di repulsione gli uni dagli altri.

5 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Lo scopo del modello è di indurre un comportamento emergente a partire dall'osservazione e dall'analisi dei flussi di attività dei processi aziendali in modo da migliorare le prestazioni dei complessi sistemi aziendali. Come abbiamo visto il problema consiste nel permettere la condivisione di dati per le analisi di rete perseverando l'interesse di tutela della privacy delle singole aziende.

Il modello è ispirato al sistema sviluppato nell'articolo *MARS, A Multi-Agent System for Assessing Rowers' Coordination via Motion-Based Stigmergy*. [8]

Per fare questo scomponiamo il problema in sotto problemi:

1. generare dei comportamenti semplici, caratteristici degli agenti nei MAS, indotti dai flussi di attività dei processi aziendali;
2. produrre attraverso l'analisi dei comportamenti delle informazioni riguardo l'andamento delle attività al livello di rete;
3. utilizzare le informazioni per ricalibrare le prestazioni della rete;

Definiamo quindi i due tipi di agenti come:

- 1 Marking Agent (MA): osserva i flussi di attività dei processi e rilascia delle impronte nell'ambiente;
- 2 Analyst Agent (AA): osserva le tracce che si formano dall'insieme impronte lasciate dei Marking Agent per analizzare le prestazioni relative ai processi nella rete;

Rappresentiamo quindi una rete generica, tipo supply chain in Illustrazione 5, in cui un insieme di aziende rappresentate da quadrati blu collaborano lungo la filiera produttiva dal reperimento delle materie prime fino alla produzione dei prodotti finiti. Utilizziamo

dei cerchi gialli per identificare i processi che vengono svolti all'interno di ogni azienda presente nella rete. I Marking Agent si troveranno in corrispondenza dei processi e monitoreranno i flussi di attività che attraversano il processo. A seconda dei dati, delle policy impostate dall'azienda e delle analisi richieste il Marking Agent rilascerà dei marker nello strato collaborativo, di colore verde in figura. L'Analyst Agent, rappresentato da un esagono rosso, è a contatto con lo user che richiede le analisi e produce i risultati delle analisi osservando le tracce presenti nello strato collaborativo.

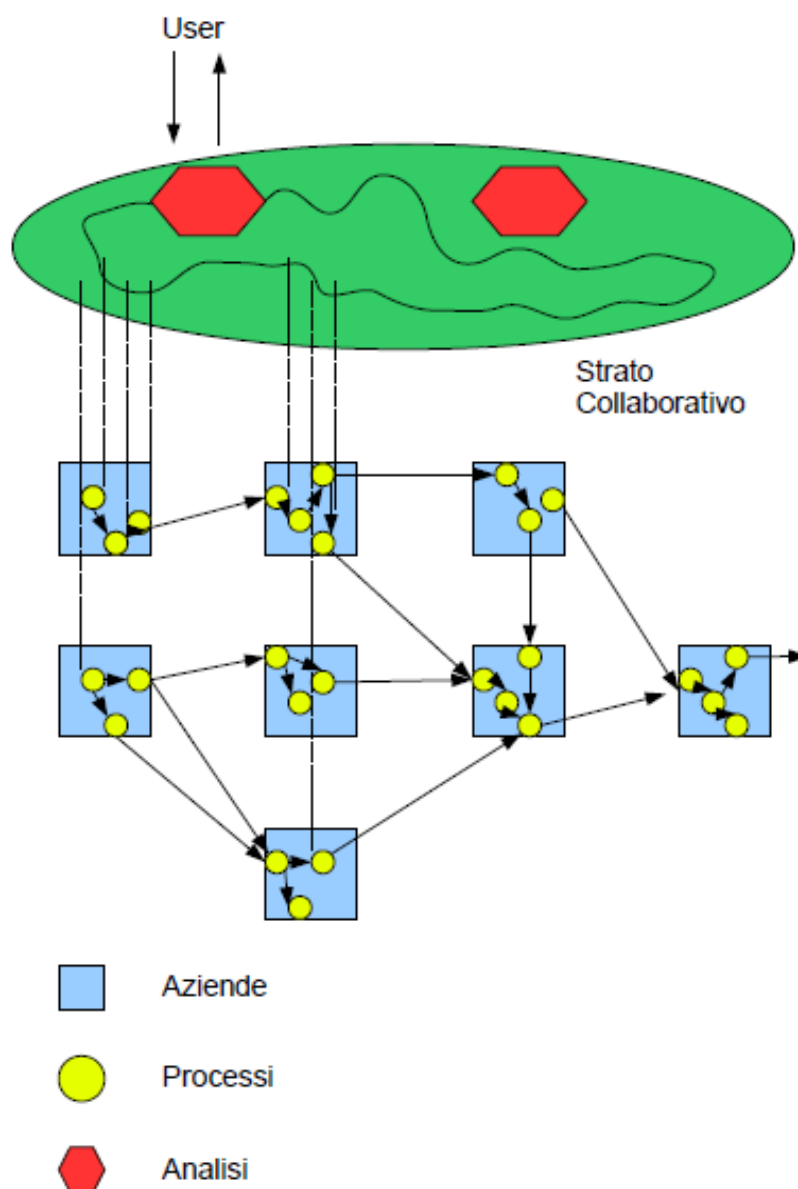


Illustrazione 5: Schema del modello

5.1 *Il Marking Agent*

I MA sono a diretto contatto i sensori che monitorano le singole attività ed hanno accesso diretto ai dati; il compito del MA consiste nell'osservare il flusso di dati proveniente dall'attività da monitorare e rilasciare un'impronta, detta *marker*, nell'ambiente mano a mano che osserva i dati.

Per ogni dato che l'agente riceve dovrà effettuare una valutazione:

- Confrontarlo con le policy aziendali per decidere se è condivisibile o meno nell'ambiente;
- Se il dato è condivisibile, valutare se e quanto offuscare il dato;

Per ogni dato condivisibile verrà rilasciato un *marker* di forma triangolare nell'ambiente (Illustrazione 6); utilizzeremo un *marker* monodimensionale che viene rilasciato in modo proporzionale al valore del dato osservato dall'agente. Monodimensionale significa che i dati sono osservati dall'agente singolarmente senza effettuare operazioni di correlazione a causa di eventuali dipendenze con altri dati (es. prezzo e qualità). L'ambiente è bidimensionale in quanto l'analisi che stiamo facendo è come abbiamo detto monodimensionale: la dimensione orizzontale a corrisponde al valore del dato rispetto alla scala di misura mentre quella verticale all'intensità del *marker*. L'intensità del *marker* I diminuirà nel tempo a seconda di un fattore di *evaporazione* θ che dipende dalla frequenza e dal tipo di dati che vengono osservati dall'agente: possiamo immaginare il decadimento del *marker* come al tasso di obsolescenza dell'informazione.

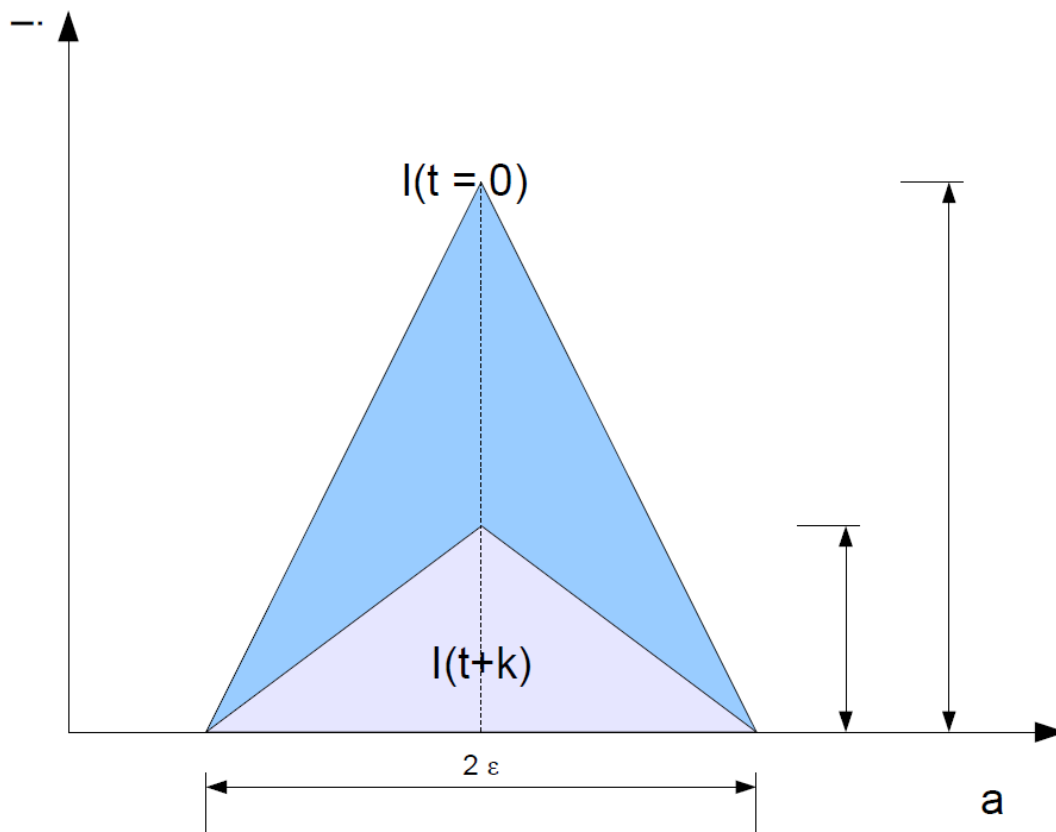


Illustrazione 6: Marker triangolare rilasciato dal Marking Agent; con il passare del tempo l'intensità (altezza) del marker diminuisce

La lunghezza della base del triangolo ε rappresenta invece l'incertezza con la quale l'agente ha deciso di rilasciare il *marker* nell'ambiente ovvero il grado di offuscamento del dato; immaginando i due casi limite vediamo che se la base tende ad essere molto stretta, vicino a lunghezza uguale a 0, la forma del triangolo si avvicina a quella di una retta verticale (Illustrazione 7), se invece tende ad infinito la forma somiglia ad un rettangolo (Illustrazione 8). Nel primo caso l'impronta è una rappresentazione puntuale del dato ed è quindi un'informazione precisa, nel secondo invece copre tutto il campo di esistenza dei valori ed è un'informazione incerta, per non dire inutile.

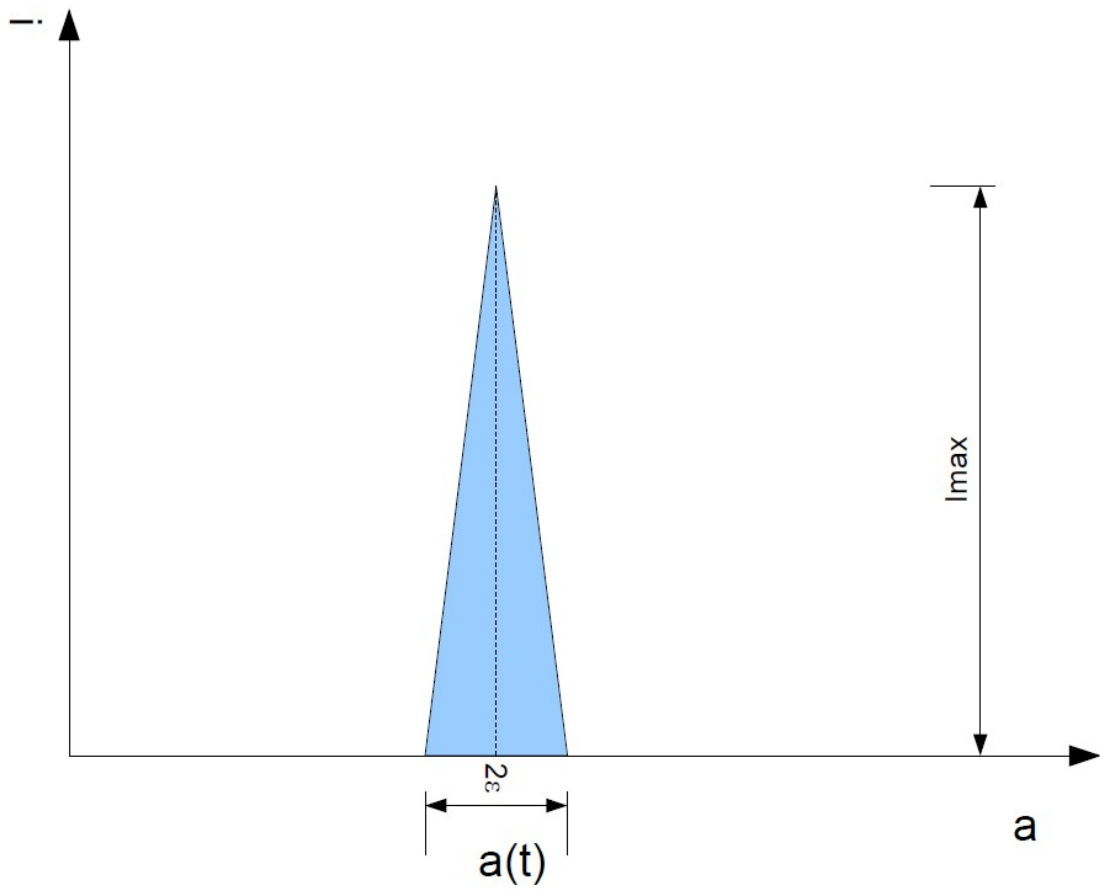


Illustrazione 7: Forma di un marker con basso offuscamento

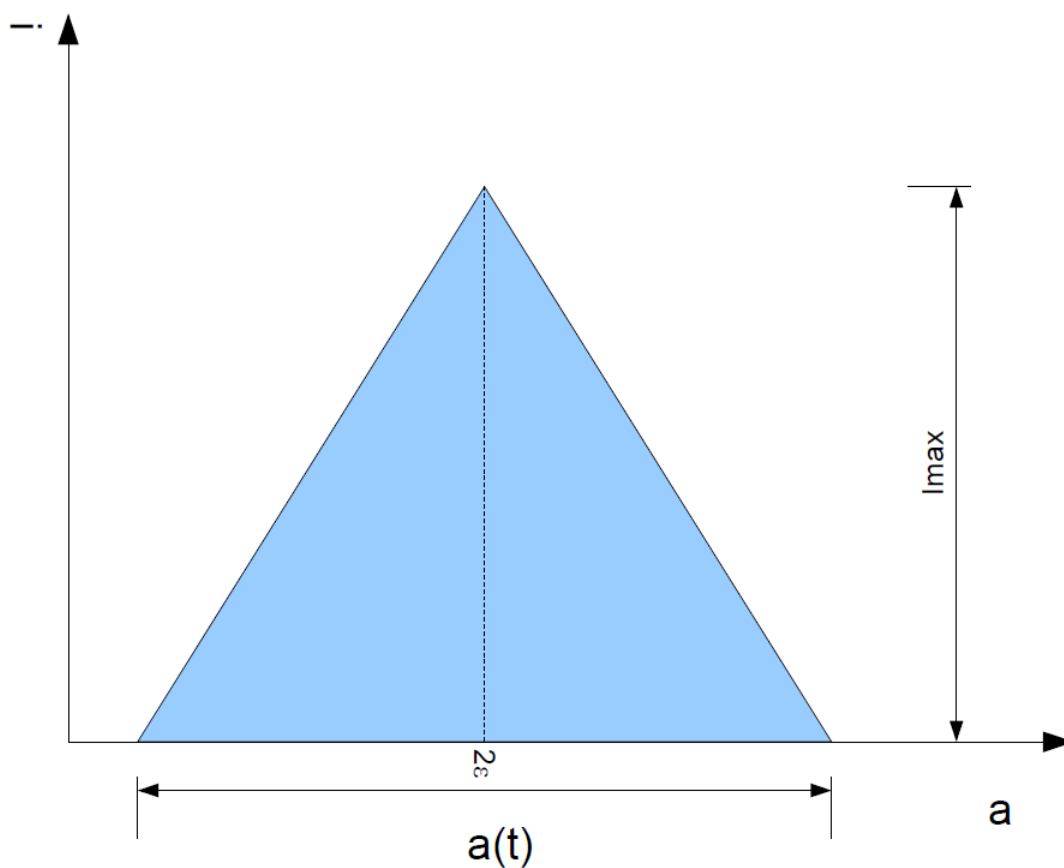


Illustrazione 8: Forma di un marker con elevato offuscamento

Il marker rilasciato dal j -esimo MA in posizione a all'istante i di ampiezza $2*\epsilon$ d'intensità I_{max} secondo l'equazione:

$$I_j^{(i)}(a) = \max(0, I_{max} * [1 - \epsilon^{-1} * |a - a_j^{(i)}|])$$

5.2 L'ambiente

L'ambiente, come accennato sopra, è il contenitore in cui operano gli agenti e dove vengono depositati i *marker*.

Il singolo *marker* rilasciato dell'agente si somma agli altri *marker* già presenti producendo una *traccia* che rappresenta l'insieme storico di dati pesati rispetto all'ampiezza del *marker* e dalla distanza temporale in cui è stata depositata; il *marker* ha infatti una validità nel tempo in quanto dati vecchi sono da considerare obsoleti. L'obsolescenza di un dato dipende dal tipo di dato e dalla frequenza di avvenimento degli eventi che lo generano nei processi. L'ambiente ha la funzione di far scomparire, tecnicamente *evaporare* o *decadere*, i *marker* in modo che le tracce siano sempre e comunque aggiornate rispetto ai dati. Il tasso di evaporazione dei *marker* deve essere quindi valutato a seconda dell'orizzonte temporale che viene considerato per l'analisi: per un'analisi sulla qualità del servizio di consegne degli autotrasportatori saranno valutati i tempi consegna dell'ultimo mese in modo da avere dati recenti.

L'evaporazione dei *marker* al variare del tempo t avviene ad un tasso θ ogni T_s secondi in base all'equazione:

$$I_j^{(i)}(a, t) = u(t - i * T_s) * I_j^{(i)}(a) * \theta^{\frac{t - i * T_s}{T_s}}$$

dove $u(t)$ è una funzione scalino unitaria che ha valore 0 per argomenti negativi ed 1 per argomenti positivi.

La traccia prodotta dall'accumularsi dei *marker* è data dalla sommatoria dei *marker* presenti all'istante t secondo l'equazione precedente:

$$I_j(a, t) = \sum_{i=0}^{Z=\lfloor t/T_s \rfloor} u(t - i * T_s) * I_j^{(i)}(a) * \theta^{Z-i}$$

con Z pari al numero di decadimenti ai quali è sottoposto ogni *marker* in funzione del tempo. Supponendo che i *marker* siano rilasciati per lo stesso valore di a e con stessa ampiezza ε dopo un numero di rilasci Z molto maggiori di 1 si ha che:

$$I_j(a, t) = I_j^{(j)}(a) * \theta^Z + I_j^{(j)}(a) * \theta^{Z-1} + \dots + I_j^{(j)}(a)$$

con:

$$I_j^{(0)}(a) = I_j^{(1)}(a) = \dots = I_j^{(Z)}(a)$$

per cui:

$$I_j(a, t) = I_j^{(0)}(a) * (\theta^Z + \theta^{Z-1} + \dots + 1) = I_j^{(0)}(a) * \frac{1 - \theta^{Z+1}}{1 - \theta}$$

ricordiamo con $Z \gg 1$

$$I_j(a, t) \rightarrow I_j^{(0)}(a) * \frac{1}{1 - \theta}$$

Se il fattore di evaporazione è fissato a 0,75 il valore massimo di altezza raggiungibile dalla traccia (Illustrazione 9) è:

$$I_j^{(0)}(a) * \frac{1}{1 - \theta} = I_{max} * \frac{1}{1 - 0,75} = I_{max} * 4$$

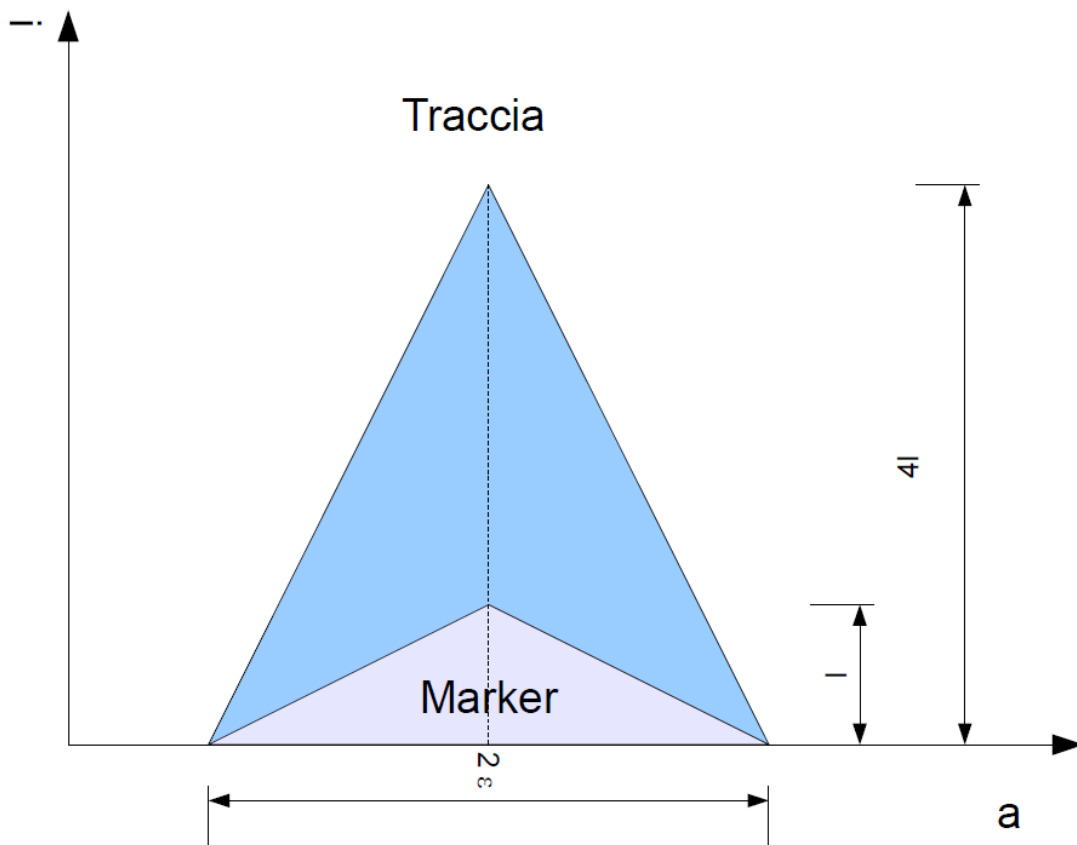


Illustrazione 9: Altezza massima raggiungibile da una traccia con evaporazione 0,75

Nelle Illustrazione 10 e 11 si mostra come non sia univocamente possibile risalire ai singoli *marker*, ovvero ai dati originali che si vogliono offuscare, dalle tracce che vengono condivise per l'analisi.

In entrambe le figure è disegnata parte di una traccia rappresentata da due segmenti che si incontrano nel vertice V ad altezza $2h$, con h altezza standard di un singolo *marker*. Nell'Illustrazione 10 vediamo un *marker* A di altezza h posizionato esattamente sulla proiezione di V sulle ascisse. Potremmo dedurre che la traccia in V sia stata prodotta da due *marker* identici ad A .

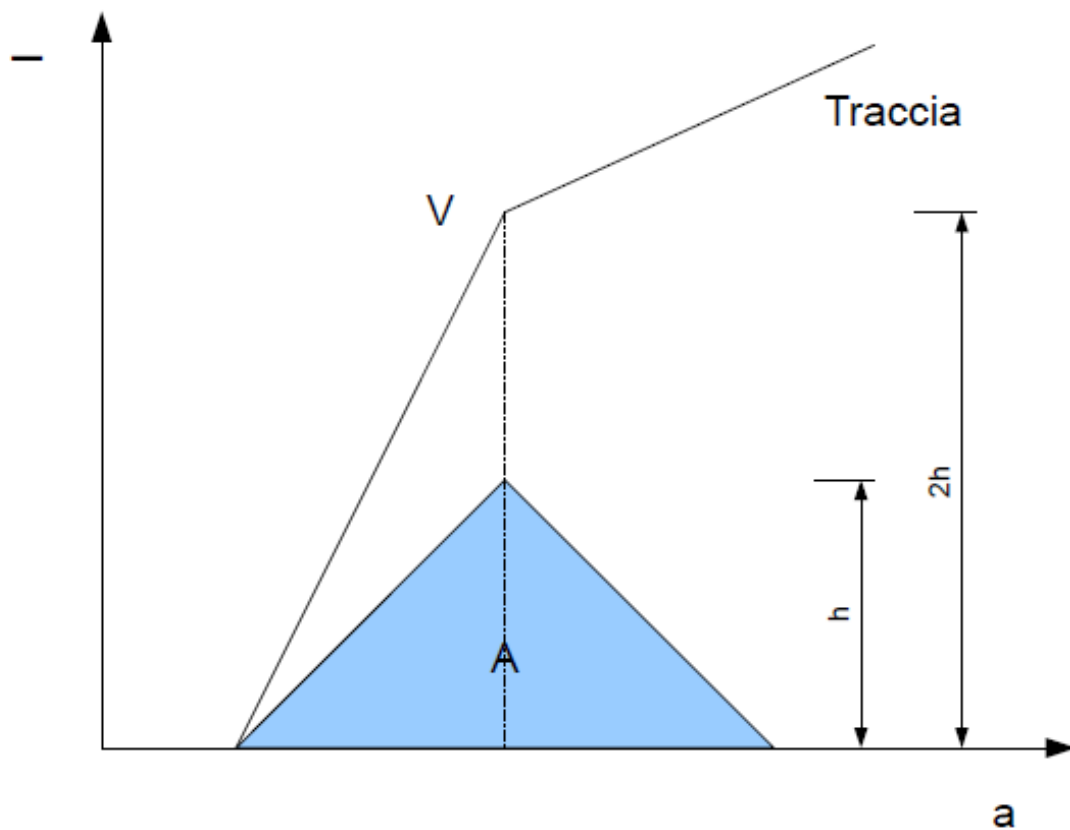


Illustrazione 10: Esempio di formazione di traccia come somma di due marker identici ad A

Allo stesso tempo nella Illustrazione 11 vediamo due *marker* A e B, con B sempre altezza h e base doppia rispetto ad A. Il vertice V può essere prodotto dalla sovrapposizione di un *marker* A e due *marker* B.

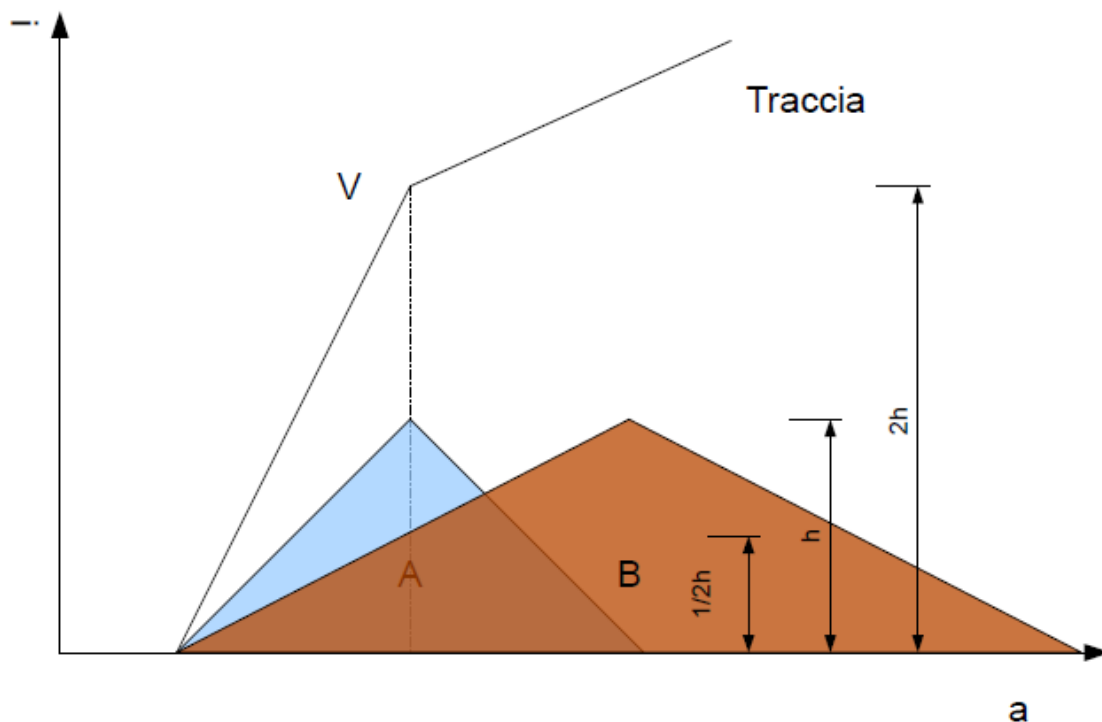


Illustrazione 11: Esempio di formazione di una traccia, identica a quella in Illustrazione 10, ma con tre marker: un A e due B

Con questo esempio vediamo che non è possibile risalire ai dati esatti dai quali sono state generate le tracce se si hanno le seguenti condizioni:

- l'ampiezza delle tracce è sufficiente a permettere la sovrapposizione dei marker in quanto se i marker non si sovrappongono la traccia è identica ai marker stessi e non vi è offuscamento (Illustrazione 12: traccia T equivalente alle due marker A e B);
- il numero di marker che compongono la traccia è sufficientemente elevato a permettere la formazione di una traccia aggregata;
- i marker devono essere variabili e non identici tra loro: se i marker vengono generati da dati tutti identici si sovrappongono mantenendo la forma di un triangolo (Illustrazione 13: traccia T equivalente alla somma di due impronte A);

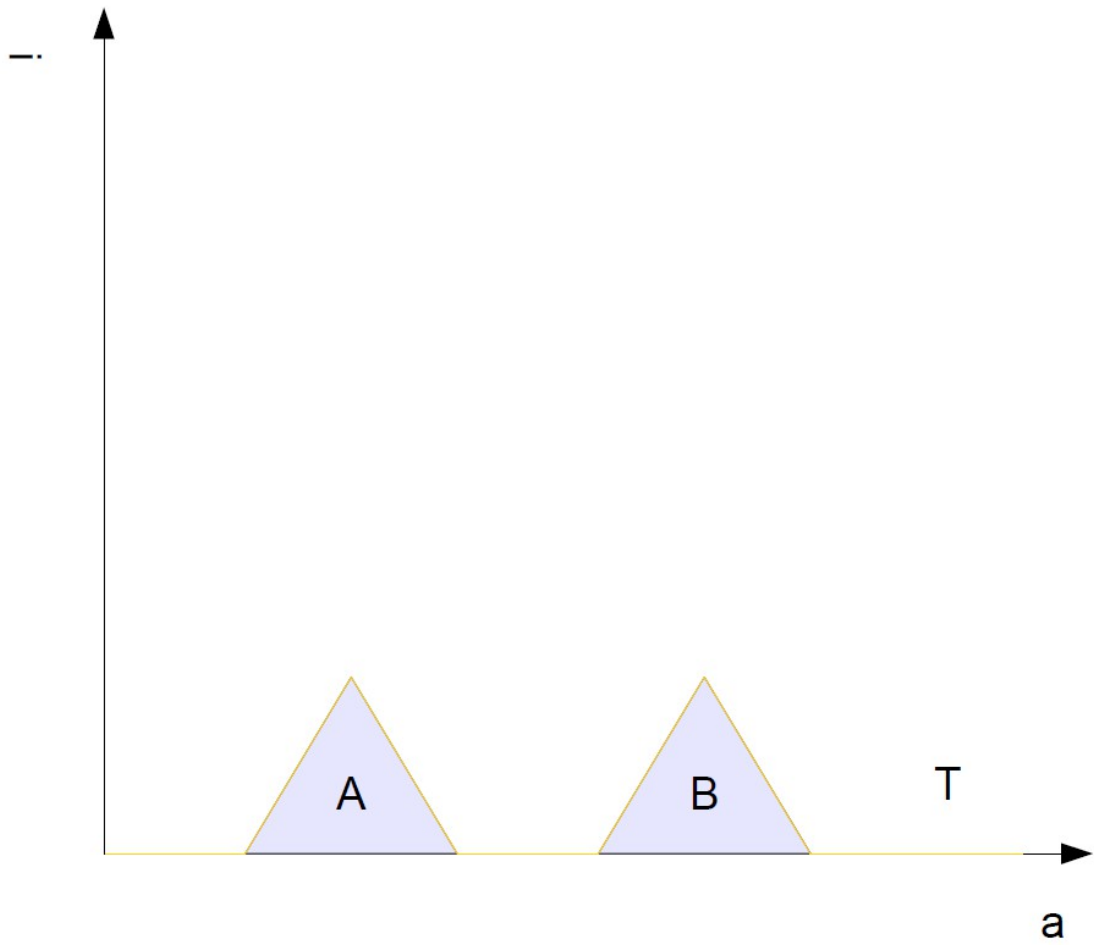


Illustrazione 12: Marker non sovrapposti A e B generano una traccia T dalla quale si può risalire ai dati

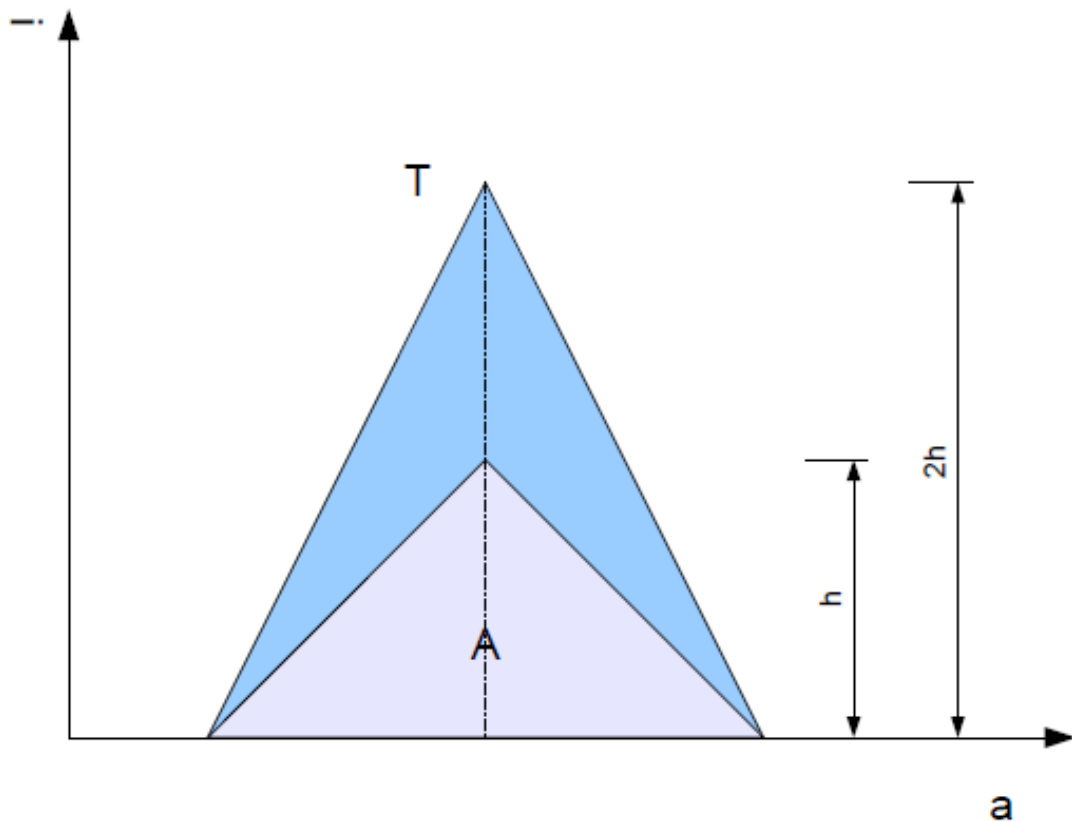


Illustrazione 13: Traccia T prodotta da marker identici A

5.3 L'Analyst Agent

L'Analyst Agent si occupa di leggere le tracce ed analizzarle per far emergere indicatori di prestazione che aggiungano contenuto informativo sull'andamento dei processi in oggetto al livello del funzionamento della rete.

I compiti dell'Analyst Agent possono essere visti con la sequenza:

1. Valutare le richieste di analisi
2. Istruire i Marking Agent sui dati da tracciare per l'analisi (fornendo il baricentro)

- e ampiezza di riferimento)
3. Analizzare le tracce
 4. Restituire i risultati

Valutare le richieste di analisi

L'analisi può essere richiesta da diversi soggetti con diversi livelli di autorizzazione, quindi non tutti i soggetti che inviano una richiesta all'Analyst Agent vedranno soddisfatta la propria domanda. L'accesso all'analisi è quindi limitato a seconda dell'utilizzatore: impiegati dell'azienda avranno accesso a meno possibilità di analisi dei manager così come manager di aziende diverse potranno richiedere solo specifiche analisi attinenti ad alcuni processi oppure soggetti pubblici avranno accesso a strumenti diversi di verifica fiscale, sicurezza ed altri ancora.

Istruire i Marking Agent sui dati da tracciare per l'analisi

L'AA quando accetta una richiesta di analisi ricerca nell'ambiente delle tracce dalle quali possa ricavare i risultati; le tracce, che sono prodotte dai MA, possono essere presenti nell'ambiente oppure no e questo dipende da due fattori: il primo è di tipo tendenzialmente economico, infatti il monitoraggio dei processi resta comunque un'attività costosa e quindi l'azienda deve valutare quale monitoraggio vale la pena fare costantemente e quale monitoraggio conviene invece fare solo se necessario; nel caso quindi che le tracce non siano presenti per questo motivo l'AA può richiedere ai MA di iniziare un determinato monitoraggio e produrre le relative tracce. Il secondo è di tipo discrezionale dal punto di vista del MA: quest'ultimo infatti può decidere di non monitorare un determinato processo, se questo per esempio è troppo costoso, oppure potrebbe decidere di non rilasciare *marker* in un determinato periodo per offuscare i dati. Questa discrezionalità dipende da come è costruito il programma agente e da quali ontologie, rispetto alle policy aziendali, sono state inserite.

Analisi delle tracce

Quando l'AA legge le tracce dai MA crea una curva collettiva sommando le tracce ricevute in modo identico a come avviene nell'ambiente del MA quando i *marker* si sommano per formare la traccia.

Analogamente a quanto fatto per calcolare l'altezza massima raggiungibile da una traccia, possiamo calcolare l'altezza massima e la relativa forma di una curva collettiva (Illustrazione 14). Infatti l'altezza massima di una curva si raggiunge solo se le tracce sono tutte identiche, ovvero hanno la stessa posizione a e con stessa ampiezza ε , e la loro somma è data dal numero N di tracce, ovvero da quanti MA partecipano all'analisi, e all'altezza delle singole tracce che dipende dalla intensità delle impronte I_{max} che abbiamo definito costante per tutti i MA. Ne consegue che:

$$H_{max} = \sum_{i=0}^{i=N} I_j(a, t) = N * I_{max} * 4$$

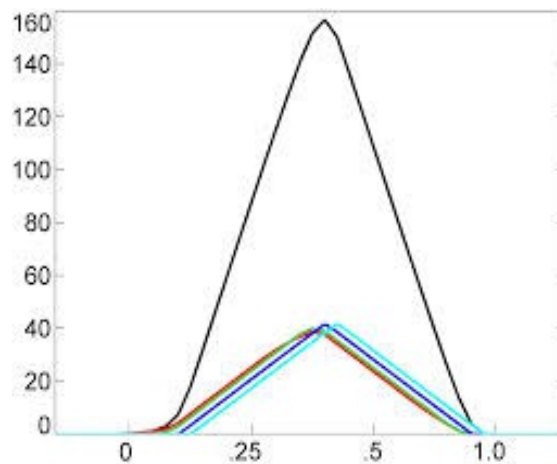


Illustrazione 14: Curva collettiva in nero generata da quattro tracce identiche colorate

Il caso particolare in cui la curva collettiva di un insieme di tracce raggiunge l'altezza

massima ed ha forma triangolare corrisponde alla situazione in cui tutti i MA hanno rilevato dati perfettamente identici in tutti i processi analizzati. Per fare un esempio: se stiamo valutando la puntualità dei trasportatori che svolgono servizi di consegne nella rete collaborativa e per farlo facciamo tracciare al MA i minuti di ritardo corrispondenti ad ogni consegna, la situazione nell'Illustrazione 15 rappresenta una situazione in cui tutte le consegne vengono effettuate con lo stesso ritardo. Questo scenario rappresenta a livello della rete una situazione in cui tutti i processi analizzati vengono svolti con le stesse prestazioni e nella rete nessuna azienda si trova in condizione di migliore o peggiore efficienza rispetto alle altre.

La curva collettiva ideale è quindi la curva che si otterrebbe se tutti i processi venissero svolti con le stesse prestazioni e le sue caratteristiche sono:

- ha altezza massima come nella formula sopra;
- ha il baricentro nello stesso punto della curva collettiva reale corrispondente;

L'analisi delle tracce viene fatta confrontando la curva collettiva ideale con quella reale utilizzando il criterio della similarità: la similarità tra due curve o due tracce è data da il rapporto tra l'area in comune delle due curve e della loro intersezione.

La similarità è limitata tra il valore minimo 0 quando le impronte non si intersecano ed è massima, ovvero 1, quando le impronte sono identiche.

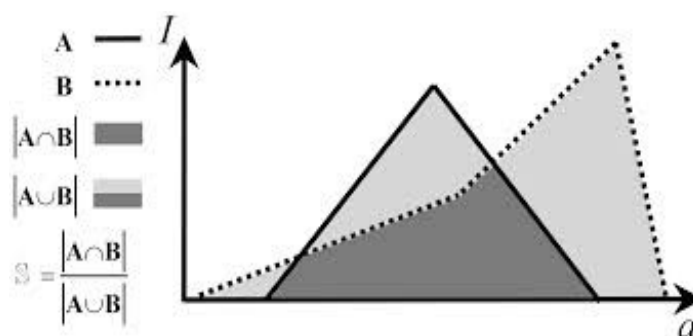


Illustrazione 15: Calcolo della similarità tra due curve o due tracce

Per valori diversi da 1 la similarità non è però sufficiente a fornire informazioni sulla positività o negatività dello scostamento. La similarità è una misura simmetrica perciò ha lo stesso risultato sia per scostamenti verso il basso che verso l'alto della curva reale rispetto a quella ideale. Per fare un esempio in figura vediamo come le due curve hanno la stessa similarità con la curva ideale ma una è posizionata a sinistra ed una invece a destra. È necessario affiancare alla similarità un'altra misura che consiste nella distanza (non euclidea) tra il baricentro della curva reale e di quella ideale in modo da sapere se la curva si posiziona a destra o sinistra del baricentro ideale.

Il baricentro di una traccia che in questo caso è una funzione ad una variabile viene calcolato integrando la funzione secondo la formula:

$$b = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} I(a) * a da}{\int_{-\infty}^{\infty} I(a) * da}$$

Con questi due fattori, similarità e posizione rispetto al baricentro, è possibile effettuare due analisi:

- globale: a livello della rete è possibile attraverso la similarità vedere quanto i processi sono effettuati in modo disomogeneo rispetto alla situazione ideale. Se i processi hanno prestazioni omogenee la similarità avrà valori elevati, vicini ad 1, se invece c'è disomogeneità il valore sarà vicino allo 0;
- locale: i due fattori calcolati per l'analisi sulla rete possono essere condivisi con chi ha partecipato all'analisi in modo da effettuare un confronto della propria situazione con quella del contesto collaborativo. Dalla curva collettiva ideale è facilmente ricavabile una curva individuale ideale: il baricentro coincide e l'altezza è inversamente proporzionale al numero di partecipanti all'analisi (vedi formula precedente). Confrontando la propria traccia con quella ideale ogni azienda può capire come si posiziona rispetto al valore globale della rete e ricavare informazioni strategiche importanti;

5.3.1 Analisi Multidimensionali

Nella realtà è spesso necessario confrontare più metriche allo stesso tempo a causa delle dipendenze che legano i caratteri del processo in analisi. Ad esempio, non possiamo scorporare il prezzo dalla qualità del bene o del servizio acquistato, così come non possiamo non tener conto delle non conformità di produzione in funzione del tempo medio di produzione. Nel modello proposto l'analisi è svolta su un'unica dimensione, quindi è necessario fare qualche considerazione per mostrare come è possibile estenderlo ad analisi multidimensionale.

Gli approcci possono essere di due tipi:

- centralizzato: i MA osservano N dati alla volta riguardo al processo in analisi generando delle impronte $N+1$ dimensionali che verranno poi raccolte sotto forma di tracce dagli AA per effettuare un'analisi di similarità come spiegato sopra;
- distribuito: i MA osservano N dati sul processo in analisi e attraverso una propria funzione di utilità interna $f(a_1, \dots, a_N)$ rilasciano un impronta monodimensionale e l'analisi procede secondo il modello proposto nella tesi;

Dei due metodi proposti il secondo sembra essere più coerente con l'architettura multi-agente presentata: infatti, mentre un modello centralizzato andrebbe a sovraccaricare computazionalmente l'analisi a livello degli AA, un modello distribuito fa sì che ogni MA abbia un proprio modello interno con il quale valuta la combinazione di attributi ed il peso che questi hanno nell'analisi.

6 SIMULAZIONE DEL MODELLO

Questo capitolo parla della simulazione del modello e si divide in tre parti: la prima parte nel paragrafo 6.1 e relativi sotto paragrafi tratta l'ambiente di programmazione java-based Repast Symphony 2.1; nella seconda, paragrafo 6.2, si commenta il codice java utilizzato per implementare le classi necessarie a rappresentare gli agenti e l'ambiente del modello; la parte conclusiva, apragrafo 6.3, consiste nella simulazione del modello che vede un primo testing sulla risposta del modello al variare dei parametri nel paragrafo 6.3.1 ed una prova di stabilità su un contesto ispirato agli ambienti economici nel paragrafo 6.3.2.

6.1 *Repast Symphony 2.1*

Repast Symphony è una piattaforma di modellazione e simulazione basata su Java che permette lo sviluppo di sistemi multi agente.¹¹ Repast fornisce una raccolta di classi per la creazione, l'esecuzione, la visualizzazione e la memorizzazione di dati relativi alle simulazioni.

La piattaforma si basa su uno schedatore per cadenzare le azioni degli agenti e sulle specifiche del modello che sono definite dal contesto, gli agenti, le proiezioni e i data layers.

6.1.1 Lo schedatore: RePast Engine

Lo schedatore cadenza le sequenze di eventi definite nel modello in modo discreto rispetto all'unità di misura del tempo che è il *tick*. Ad ogni tick vengono richiamate le azioni in base alla priorità ed alla frequenza impostata in fase di programmazione e vengono eseguite in modo parallelo se indipendenti o concorrenti se condividono risorse, ma questo dipende dall'istanziamento del modello.

¹¹ <http://www.repast.sourceforge.net>

Le modalità con cui è possibile impostare lo schedulatore sono tre:

- **Schedulazione diretta di un'azione:** questa è una impostazione che viene fatta allo schedulatore in quanto viene definito in modo diretto la condizione temporale riguardo il cosa e quando eseguirlo;
- **Schedulazione con Watcher:** un *watcher* osserva la sequenza di eventi e, al verificarsi delle condizioni definite dal programmatore, schedula le relative azioni da eseguire; un osservatore quindi notifica ad uno o più agenti che si è verificato un determinato evento e schedulando una o più azioni per quegli agenti;
- **Schedulazione tramite annotazione:** un'annotazione definisce il momento di inizio, la frequenza e la priorità di una determinata serie di una o più azioni;

6.1.2 Il contesto

Il contesto è la struttura del modello dove sono definiti i componenti e le loro relazioni; in pratica è il mondo nel quale gli agenti andranno ad interagire e ne contiene le regole e le dinamiche.

La struttura dei contesti è gerarchica: un contesto può infatti contenere dei contesti e può essere contenuto a sua volta in un altro contesto.

All'interno del contesto si trovano gli agenti, le proiezioni ed i data layers.

6.1.3 Gli agenti

La programmazione degli agenti è gestita secondo il paradigma ad oggetti di Java: un agente è definito da una classe con le sue variabili ed i suoi metodi che ne caratterizzano il comportamento, ovvero l'insieme di azioni che verranno messe in atto quando lo schedatore manderà in esecuzione l'agente. I comportamenti, che corrispondono ai metodi dell'agente, verranno schedati a seconda di come è strutturato lo schedatore stesso ed in base alla frequenza e priorità del metodo richiamato. Gli agenti saranno quindi attivati dallo schedatore e questo eseguirà i metodi relativi al tick in corso secondo la priorità impostata per ciascuno di essi.

6.1.4 Le proiezioni

Le proiezioni consistono nella struttura necessaria per gestire le relazioni spaziali del modello. Una proiezione indicata in un contesto viene applicata a tutti gli agenti presenti nel contesto; questo implica una dipendenza sequenziale tra le operazioni, ovvero prima devono essere aggiunti gli agenti al contesto e successivamente deve essere applicata la proiezione.

Le proiezioni presenti in Repast sono quattro:

- **Continuous Space Projection:** consiste in uno spazio continuo n-dimensionale con valori reali; la posizione è specificata da vettori con valori in virgola mobile;
- **Grid Space Projection:** lo spazio è sempre n-dimensionale, ma discreto; corrisponde quindi ad una griglia, matrice, le cui celle sono individuate da coordinate intere;
- **GIS Projection:** si basa sulla proiezione geografica che consiste in uno spazio definito da strutture geometriche spaziali come punti, segmenti, poligoni ecc.
- **Network Projection:** l'ambiente in cui sono immersi gli agenti non è spaziale ma corrisponde ad una rete in cui gli agenti e le connessioni tra loro sono la struttura stessa; in questo modo si possono rappresentare reti sociali, fisiche o astratte;

6.1.5 I data layers

I data layers corrispondono a valori numerici presenti nel contesto che possono essere acceduti dagli agenti utilizzando le coordinate corrispondenti al dato.

I data layers sono collegati al contesto nel quale sono inseriti e non sono separati da eventuali data layers presenti in altri contesti; il collegamento dei data layers può essere fatto in base alle proiezioni:

- Una proiezione specifica: ad esempio data una proiezione a griglia possiamo associare un dato ad ogni cella della griglia;
- Proiezioni multiple: associare al valore delle coordinate un insieme di celle di una griglia oppure un insieme di connessioni di una rete;
- Nessuna proiezione: effettuare la memorizzazione in una matrice astratta;

6.2 Implementazione delle classi

Il codice utilizzato è stato messo a disposizione dal Dipartimento d'Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa e riadattato per il problema in oggetto.

Classe BusinessProcessAnalysis

Il contesto contiene l'insieme di agenti, l'ambiente e le relazioni che li legano tra loro ed è definito dalla classe `BusinessProcessAnalysisContext` che prevede le seguenti operazioni:

1. inizializzazione delle variabili dal file `parameters.xml`;
2. creazione dello spazio dove si muovono gli agenti e dei layers dove si depositano i marker. Lo spazio è bidimensionale in quanto i marker hanno

un'ampiezza ed un'altezza, ma ricordiamo che siccome l'analisi che facciamo è monodimensionale il movimento degli agenti sarà limitato all'asse delle ascisse;

3. aggiunta dei Marking Agent per il rilascio dei marker;
4. aggiunta del Service Agent per l'evaporazione dei marker;

Di seguito il codice in Java:

```
pubblici class BusinessProcessAnalysisContext extends DefaultContext<Object>
implements
    ContextBuilder<Object> {

    @Override
    public Context<Object> build(Context<Object> context) {
        context.setId("BusinessProcessAnalysisContext");

        // Inizializzazione dei parametri
        Parameters params= RunEnvironment.getInstance().getParameters();
        int processi = (Integer) params.getValue("processi");
        int altezza = (Integer) params.getValue("altezza");
        int larghezza = (Integer) params.getValue("larghezza");
        int zoom = (Integer) params.getValue("Zoom");

        int steps = (Integer) params.getValue("steps");
        RunEnvironment.getInstance().endAt(steps);

        double diffusion = (Double) params.getValue("diffusione");
        double evaporation = (Double) params.getValue("evaporazione");

        int markExtension = (Integer) params.getValue("ampiezza");
        double markIntensity = (Double) params.getValue("intensita");
        int collaborationThreshold= (Integer) params.getValue("soglia");
        double collaborationGain = (Double) params.getValue("guadagno");

        // Creazione dello spazio e dei layer: un layer per ogni Marking
```

```

// Agent ed uno per la curva collettiva
ContinuousSpace<Object> movingSpace =
    ContinuousSpaceFactoryFinder.createContinuousSpaceFactory(
        null).createContinuousSpace("Spazio", context,
        new SimpleCartesianAdder<Object>(),
        new InfiniteBorders<Object>(), larghezza, altezza);

GridValueLayer markingLayer = new GridValueLayer("OrmaGriglia",
    false,
    new repast.simphony.space.grid.InfiniteBorders<Object>(),
    larghezza, altezza);
context.addValueLayer(markingLayer);

GridValueLayer colorLayers[] = new GridValueLayer[processi];
context.addValueLayer(markingLayer);

BusinessProcessAnalysisInputData p =
    new BusinessProcessAnalysisInputData(steps, processi);

// Creazione ed aggiunta degli agenti con assegnazione dei layer
MarkingAgent[] ma = new MarkingAgent[processi];
for(int j=0; j<processi; j++){
    double[] movementCache = p.getList(j);

    colorLayers[j] = new GridValueLayer("GrigliaColorata"+j, false,
        new repast.simphony.space.grid.WrapAroundBorders(),
        larghezza, altezza);

    context.addValueLayer(colorLayers[j]);
    ma[j] = new MarkingAgent(j, context, movementCache, colorLayers[j],
        markExtension, markIntensity, collaborationThreshold,
        collaborationGain, zoom);
}
// Creazione ed aggiunta del Service Agent
ServiceAgent ds = new ServiceAgent(context, evaporation,

```



```

        diffusion,processi);
    context.add(ds);

    return context;
}
}

```

Classe Sensor

La classe `Sensor` rappresenta il sensore che osserva il processo e raccoglie il dato che vogliamo tracciare. Il movimento del sensore nello spazio è limitato ad una sola dimensione, quella delle ascisse. In particolare dato che i dati sono normalizzati tra 0 ed 1 il sensore si muoverà in questo intervallo limitato.

Ad ogni tick il sensore legge un dato e si sposta lungo l'asse delle ascisse in posizione corrispondente; se i dati sono terminati il sensore termina di esistere nel contesto invocando il metodo `die()`.

La classe comprende:

1. `Sensor(int id, Context<Object> context, ContinuousSpace<Object> movingSpace, double[] movementCache, int zoom)`: costruttore del sensore;
2. `moveTo()`: sposta l'agente nella posizione del dato successivo; la lista dei dati viene passata al sensore come parametro del costruttore;
3. `die()`: metodo invocato se la serie di dati è terminata, così l'agente viene rimosso dal contesto;

```

public class Sensor {

    protected Context<Object> simulationContext;
    protected double[] movementCache;
    protected ContinuousSpace<Object> movingSpace;
    protected int id;
}

```

```

private int index;
private int zoom;

public Sensor(int id, Context<Object> context, ContinuousSpace<Object>
movingSpace, double[] movementCache, int zoom){
    this.simulationContext = context;
    this.movingSpace = movingSpace;
    this.id=id;
    context.add(this);
    this.movementCache=movementCache;
    this.index=0;
    this.zoom=zoom;
}

protected NdPoint moveTo(){
    NdPoint ret = null;

    // Se è presente un nuovo dato il sensore si sposta nella
    // posizione del dato, altrimenti è rimosso dal contesto
    if(index<movementCache.length){
        double width = movingSpace.getDimensions().getWidth()/2;
        double height =0;
        movingSpace.moveTo(this,
            width+(movementCache[index]*zoom), 0);
        index++;
        ret = movingSpace.getLocation(this);
    }else{
        die();
    }
    return ret;
}

public void die(){
    simulationContext.remove(this);
}
}

```

Classe MarkingAgent

La classe `MarkingAgent` è responsabile del rilascio del marker nel layer; è un'estensione della classe `Sensor` che fornisce i metodi per lo spostamento nel punto di rilascio del marker.

Lo schedulatore è impostato per attivare i `Marking Agent` dal primo tick ed ad ogni tick successivo con un livello di priorità 3. Anticipiamo che è il livello massimo impostato per la simulazione quindi i `Marking Agent` sono i primi ad agire nel contesto.

Ad ogni tick, dopo che il sensore si è posizionato come spiegato sopra, viene rilasciato il marker e viene aggiornata la traccia se già presente nel layer: i marker successivi si sommano ai marker rilasciati precedentemente creando una traccia.

La classe contiene:

1. `MarkingAgent()`: costruttore che richiama il super `Sensor()`;
2. Schedulatore: per l'attivazione al passare dei tick
 1. `moveTo()`: metodo della classe `Sensor` per il riposizionamento in base al valore del nuovo dato;
 2. `leaveMark1D(double x1, double y1)`: rilascio del marker di forma triangolare nella posizione del sensore;
3. `getCellDistance1D(int x, int i)`: metodo di supporto per rilasciare il mark di forma triangolare;

```
public class MarkingAgent extends Sensor{  
  
    private GridValueLayer markingLayer;  
    private GridValueLayer colorLayer;  
    private int markExtension;  
    private double markIntensity;  
    private double markDecrease;  
    private int collaborationThreshold;
```

```

private double collaborationGain;

public MarkingAgent(int id, Context<Object> context,
    double[] movementCache, GridValueLayer colorLayer,
    int markExtension, double markIntensity,
    int collaborationThreshold, double collaborationGain, int zoom)
{
    super(id, context,
        ((ContinuousSpace<Object>)context.getProjection("Spazio")),
        movementCache, zoom);

    this.markingLayer =
        (GridValueLayer) context.getValueLayer("OrmaGriglia");
    this.colorLayer = colorLayer;
    this.movingSpace = ((ContinuousSpace<Object>)
        context.getProjection("Spazio"));

    this.markExtension=markExtension;
    this.markIntensity=markIntensity;
    this.collaborationThreshold = collaborationThreshold;
    this.collaborationGain = collaborationGain;
}

@ScheduledMethod(start = 1, interval = 1, priority = 3)
public void step(){
    NdPoint p = moveTo();
    if(p!=null)
        leaveMark1D(p.getX(),p.getY());
}

private void leaveMark1D(double x1, double y1){
    int x = (int) Math.round(x1);
    int y = (int) Math.round(y1);
    int k=y;

    for(int i=(x-markExtension); i<=(x+markExtension); i++){

```

```

        if((i>=0) && (i<markingLayer.getDimensions().getWidth())
        && (i<colorLayer.getDimensions().getWidth()) )
    {
        double currentMark = markingLayer.get(i,k);
        double currentColorMark = colorLayer.get(i,k);

        if(i==x && k==y){
            markingLayer.set((markIntensity) +
                mcurrentMark, i, k);
            colorLayer.set((markIntensity)+
                currentColorMark, i, k);
        }else{

            int distance = this.getCellsDistance1D(x,i);
            double decrease =
                (markIntensity/markExtension) * distance;
            markingLayer.set((markIntensity-decrease)
                +currentMark, i, k);
            colorLayer.set((markIntensity-decrease)+
                currentColorMark, i, k);
        }
    }
}

private int getCellsDistance1D(int x, int i){
    int distX = 0;
    if(x >= i) distX = x-i;
    if(x < i) distX = i-x;
    return distX;
}
}
}

```

Class ServiceAgent

La classe `ServiceAgent` è responsabile dell'evaporazione dei markers e della memorizzazione dei dati di output, ovvero le tracce presenti nei layers ad ogni istante, in

opportune matrici.

Lo schedulatore è impostato anch'esso per iniziare dal primo istante e ripersi ad ogni tick, ma la priorità è impostata a 1 e quindi l'evaporazione verrà effettuata dopo che i nuovi markers sono stati depositati.

In questo modello non è stata prevista nessuna forma di diffusione dei markers anche se la classe ne implementa la funzione noi non la utilizzeremo.

La classe contiene:

1. `ServiceAgent()`: costruttore;
2. `Schedulatore`: effettua l'evaporazione dei mark ad ogni tick;
3. `marksToStringColor0()`, `marksToStringColor0()`, `marksToStringColor1()`, `marksToStringColor2()`, `marksToStringColor3()`: permettono la preparazione di stringhe con i valori delle tracce per poi essere memorizzate in file;

```
public class ServiceAgent {
    private ValueLayerDiffuser diffuser;
    private ValueLayerDiffuser colorDiffuser[];
    private Context<Object> context;

    public ServiceAgent(Context<Object> context, double evaporationRate,
        double diffusionRate, int processi){
        this.context = context;
        GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
            context.getValueLayer("OrmaGriglia");
        this.diffuser = new ValueLayerDiffuser(marks, evaporationRate,
            diffusionRate);
        colorDiffuser = new ValueLayerDiffuser[processi];
        for(int i=0; i<processi; i++){
            marks = (GridValueLayer)
                context.getValueLayer("GrigliaColorata"+i);
            colorDiffuser[i] = new ValueLayerDiffuser(marks,
                evaporationRate, diffusionRate);
        }
    }
}
```

```

}

@ScheduledMethod(start = 1, interval = 1, priority = 1)
public void applyDiffuse(){
    this.diffuser.diffuse();
    for(int i=0; i<colorDiffuser.length; i++)
        colorDiffuser[i].diffuse();
}

public String marksToStringMonochromatic(){
    GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
        context.getValueLayer("OrmaGriglia");

    int height = (int) marks.getDimensions().getHeight();
    int width = (int) marks.getDimensions().getWidth();

    String s="\n ";

    for(int x=0; x<width; x++){
        s+=marks.get(x,0);
        if(x<width-1) s+="\t";
        else s+="\n";
    }
    s+="\n";
    return s;
}

public String marksToStringColor0(){
    GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
        context.getValueLayer("GrigliaColorata0");

    int height = (int) marks.getDimensions().getHeight();
    int width = (int) marks.getDimensions().getWidth();

    String s="\n";

    for(int x=0; x<width; x++){

```

```

        s+=marks.get(x,0);
        if(x<width-1) s+="\t";
        else s+="\n";
    }

    s+="\n";
    return s;
}

public String marksToStringColor1(){
    GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
        context.getValueLayer("GrigliaColorata1");

    int height = (int) marks.getDimensions().getHeight();
    int width = (int) marks.getDimensions().getWidth();

    String s="\n";

    for(int x=0; x<width; x++){
        s+=marks.get(x,0);
        if(x<width-1) s+="\t";
        else s+="\n";
    }

    s+="\n";
    return s;
}

public String marksToStringColor2(){
    GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
        context.getValueLayer("GrigliaColorata2");

    int height = (int) marks.getDimensions().getHeight();
    int width = (int) marks.getDimensions().getWidth();

    String s="\n";

```



```

        for(int x=0; x<width; x++){
            s+=marks.get(x,0);
            if(x<width-1) s+="\t";
            else s+="\n";
        }

        s+="\n";
        return s;
    }

    public String marksToStringColor3(){

        GridValueLayer marks = (GridValueLayer)
            context.getValueLayer("GrigliaColorata3");

        int height = (int) marks.getDimensions().getHeight();
        int width = (int) marks.getDimensions().getWidth();

        String s="\n";

        for(int x=0; x<width; x++){
            s+=marks.get(x,0);
            if(x<width-1) s+="\t";
            else s+="\n";
        }

        s+="\n";
        return s;
    }

}

```

File context.xml

Il file context.xml contiene gli elementi che verranno utilizzati nella simulazione:

1. il contesto: la classe BusinessProcessAnalysisContext
2. le proiezioni: lo spazio in cui si muovono gli agenti e i layer dove depositano i marker;

```
<context id="BusinessProcessAnalysisContext"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://repast.org/scenario/context"
  class =
    "businessProcessAnalysis.context.BusinessProcessAnalysisContext"
  >
  <projection type="continuous space" id="Spazio"></projection>
  <projection type="value Layer" id="Orma"></projection>
  <projection type="grid" id="Grid"></projection>
  <projection type="value Layer" id="OrmaGriglia"></projection>
</context>
```

File parameters.xml

Il file parameters.xml contiene i parametri della simulazione.

In particolare:

- intensità: altezza del marker;
- ampiezza: ampiezza della base del marker;
- steps: numero di tick della simulazione;
- evaporazione: coefficiente che indica il tasso con cui i marker decadono ad ogni tick;
- processi: numero di processi osservati, che corrisponde al numero di Marking Agent che presenti nel contesto;

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
```

```

<parameters>
<parameter name="Larghezza"
    displayName="Larghezza spazio"
    type="int"
    defaultValue="75"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
<parameter name="randomSeed"
    displayName="Default Random Seed"
    type="int"
    defaultValue="__NULL__"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
    <parameter
        name="intensita"
        displayName="Intensita' Impronta"
        type="double"
        defaultValue="5.0"
        readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$DoubleConverter"/
>
<parameter name="guadagno"
    displayName="guadagno di collaborazione"
    type="double"
    defaultValue="0.0"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$DoubleConverter"/
>
<parameter name="diffusione"
    displayName="Diffusione" type="double"
    defaultValue="0.0"
    readOnly="false"

```

```

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$DoubleConverter" /
>
<parameter name="steps"
    displayName="Numero di Iterazioni della Simulazione"
    type="int"
    defaultValue="500"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
<parameter name="Zoom"
    displayName="Zoom"
    type="int"
    defaultValue="20"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
<parameter name="ampiezza"
    displayName="Ampiezza Impronta"
    type="int"
    defaultValue="20"
    readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
    <parameter name="evaporazione"
        displayName="Evaporazione"
        type="double"
        defaultValue="0.75"
        readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$DoubleConverter" /
>
<parameter name="processi"
    displayName="numero di processi"
    type="int"
    defaultValue="4"
    readOnly="false"

```

```
converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
<parameter name="altezza"
  displayName="Altezza spazio"
  type="int"
  defaultValue="1"
  readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
<parameter name="soglia"
  displayName="soglia di collaborazione"
  type="int"
  defaultValue="900"
  readOnly="false"

converter="repast.simphony.parameter.StringConverterFactory$IntConverter"/>
</parameters>
```

6.3 Contesto della simulazione

Per fare un test del modello proposto è stato considerato il seguente contesto: s'ipotizza di trovarsi in una supply chain e voler effettuare un'analisi delle prestazioni riguardo la puntualità dei trasportatori utilizzati da quattro aziende facenti parti del contesto collaborativo. La puntualità viene espressa misurando i minuti di ritardo della consegna: avremo un dato uguale a 0 se la consegna è stata puntuale, un numero intero corrispondente ai minuti di ritardo altrimenti. I valori relativi minori saranno quindi considerati migliori rispetto a quelli maggiori ed in un'ottica di vantaggio competitivo l'azienda detentrica di dati migliori avrà meno desiderio di farli trasparire all'esterno e quindi maggiore interesse ad offuscarli.

Assumiamo che la richiesta di analisi l'Analyst Agent interrogato venga accettata ed inoltrata ai Marking Agent delle quattro aziende che incominciano a monitorare le prestazioni delle consegne.

I dati sono stati generati casualmente secondo delle distribuzioni normali e normalizzati rispetto all'intervallo stesso per avere valori compresi tra 0 ed 1 secondo la formula:

$$n(i) = \frac{i - \min(i)}{\max(i) - \min(i)}$$

Negli scenari che verranno mostrati il valore di evaporazione dei marker è impostato di base a 0,75 in modo da poter confrontare le tracce ottenute con le tracce reali secondo un rapporto di 1 a 4 come descritto nel capitolo precedente.

L'ampiezza dei marker è inizialmente impostata a 20.

Questi valori verranno modificate per simulare diverse condizioni e valutare le reazioni del modello.

Le immagini che verranno mostrate riguardo le tracce generate dai Marking Agent ed analizzate dagli Analyst Agent sono state prodotte attraverso un plotting con Matlab scalando i valori assunti dalle tracce per renderle comprensibili: sulle ascisse il valore 0 corrisponde a 100 e il valore 1 a 160 (l'intervallo 100-160 corrisponde quindi all'intervallo 0-1 in cui sono stati rilasciati i marker, le tracce possono estendersi oltre questi limiti per via dell'ampiezza dei singoli markers); sulle ordinate le tracce sono state scalate con un valore unitario di 10, in questo modo le curve ideali in blu assumeranno valori limiti di 40 per le tracce singole e 160 per la curva aggregata.

La simulazione si divide in due parti: la prima parte considera degli scenari in cui vediamo come la modifica delle distribuzioni dei dati di input, diversi valori di ampiezza per i marker lasciati dai Marking Agent e come la modifica del coefficiente di evaporazione dell'ambiente influiscono sull'analisi; nella seconda effettuiamo una prova di stabilità in un contesto dinamico in 3 step in cui ad ogni step le aziende partecipanti mettono in atto comportamenti spinti da interessi economici modificando le proprie strategie e simuliamo gli effetti di queste azioni sui risultati di analisi del modello.

6.3.1 Simulazioni

In questa parte di simulazione vediamo 8 scenari in cui modifichiamo ad uno ad uno diversi parametri: nello Scenario 1 vediamo la reazione del modello in una situazione standard (ampiezza 20 ed evaporazione 0,75) con distribuzioni di dati simili tra loro; nello Scenario 2 modifichiamo le distribuzioni di input; nello Scenario 3 vengono impostate diverse ampiezze di rilascio dei marker ai Marking Agent; nello Scenario 4 si utilizza una distribuzione di dati con varianza maggiore per confrontare il risultato con le precedenti; nello Scenario 5 applichiamo offuscamento ai dati dello scenario precedente; nello Scenario 6 utilizziamo distribuzioni con diversa media e varianza utilizzando le impostazioni standard di ampiezza; nello Scenario 7 applichiamo diversi criteri di offuscamento alle distribuzioni dello scenario precedente; nello Scenario 8 si modifica il coefficiente di evaporazione riducendolo a 0,5.

Scenario 1

Nel primo scenario i dati sono generati casualmente utilizzando distribuzioni identiche aventi media 20 e deviazione standard 15 per ciascuno dei Marking Agent. In questo scenario non simuliamo l'offuscamento indotto dagli agenti, ovvero i markers hanno ampiezza costante.

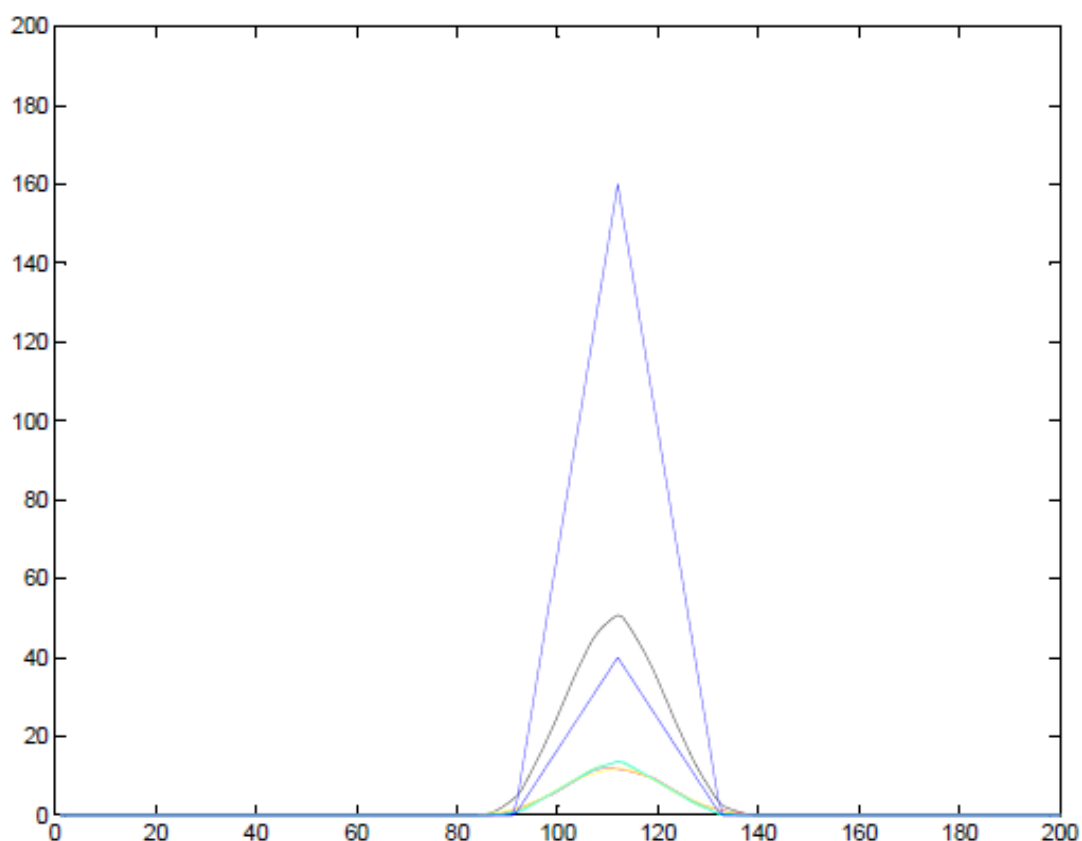


Illustrazione 16: Scenario 1.

L'Illustrazione 16 rappresenta le tracce (colori giallo, verde, rosso e ciano) inviate all'Analyst Agent dopo un'osservazione di 15 dati per ciascuna serie. In colore blu vediamo le forme triangolari ideali calcolate sulla base delle quattro tracce: quella più bassa è ideale rispetto alla singola traccia, al più alta rispetto alla curva aggregata.. Possiamo osservare che per distribuzioni identiche, corrispondenti a livelli di prestazione simili osservati per ciascuno dei quattro Marking Agent, le tracce si sovrappongono ed assumono una forma triangolare. La curva aggregata in nero, ovvero la somma delle quattro tracce di ciascun Marking Agent, ha una forma anch'essa simile ad un triangolo; ricordiamo che se la serie di dati tende a valore infinito la curva nera aggregata tende alla curva blu ideale più alta.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	109	-2	0,35
MarkingAgent B	112	1	0,35
MarkingAgent C	113	2	0,35
MarkingAgent D	113	2	0,35
Aggregata	111	-	0,35
IDEALE	111	-	-

Tabella 6.1: Scenario 1.

Gli indici calcolati sulle curve in Tabella 6.1 confermano una elevata similarità tra le tracce calcolate da Marking Agent e le relative curve ideali calcolate dall'Analyst Agent.

Scenario 2

Nel secondo scenario i dati sono stati generati con distribuzioni diverse per ciascuno dei Marking Agent, mantenendo comunque costante l'ampiezza dei markers. Con questo scenario si vuole simulare un contesto in cui le aziende osservano prestazioni diverse: visto che valutiamo la puntualità delle consegne a medie maggiori corrispondono prestazioni peggiori.

- Marking Agent A – Colore Rosso: Media 15 Deviazione Standard 30
- Marking Agent B – Colore Verde: Media 25 Deviazione Standard 30
- Marking Agent C – Colore Giallo: Media 25 Deviazione Standard 30
- Marking Agent D – Colore Ciano: Media 35 Deviazione Standard 30

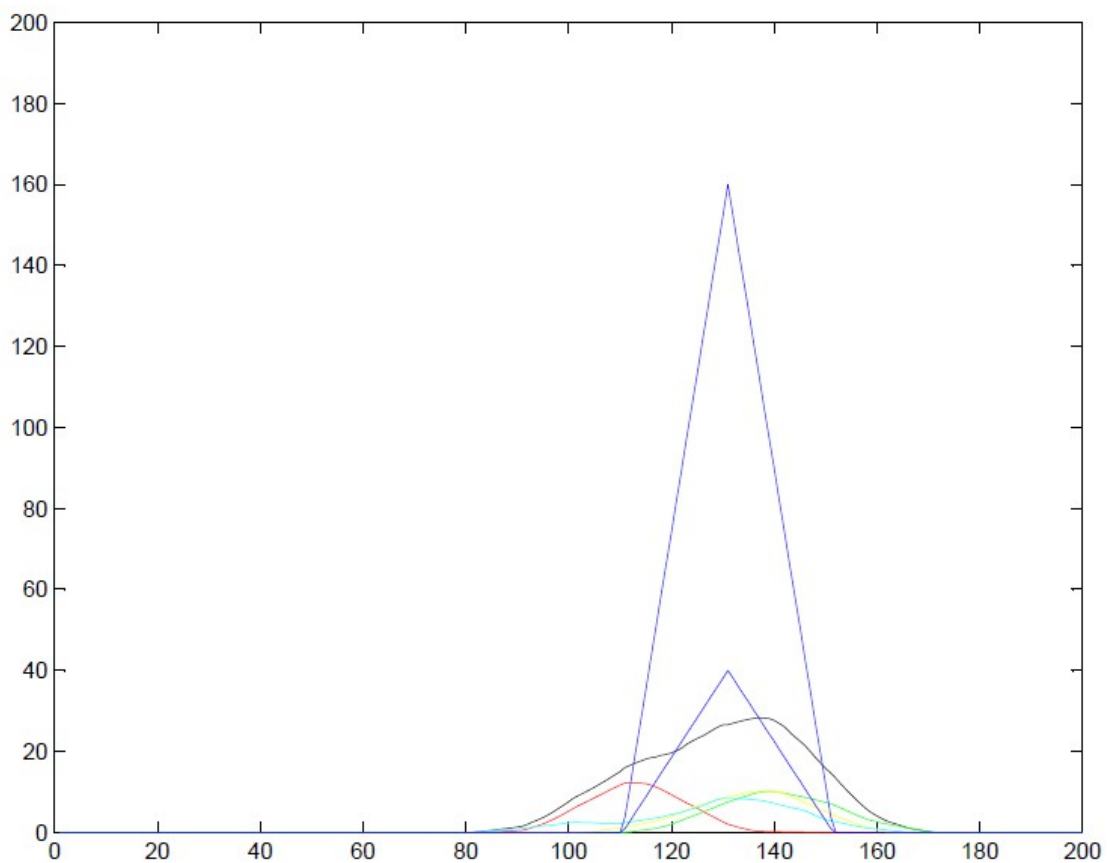


Illustrazione 17: Scenario 2.

Dall'illustrazione 17 vediamo che le singole tracce, generate sempre da 15 markers, di ogni Marking Agent assumono forme differenti rispettando la diversità delle distribuzioni che sono monitorate. Inoltre, nonostante al momento non sia ancora stata inserita la differenziazione dei markers per rafforzare l'offuscamento dei dati che generano le tracce si nota che alcune di queste, in particolare quelle color ciano, giallo e verde, assumono delle forme molto schiacciate e irregolari.

Confrontando le curve aggregate, color nero, del primo e secondo scenario si individua che nell'ultimo si verifica un netto abbassamento del livello di altezza della curva ed uno scostamento dalla forma triangolare che caratterizza la curva blu ideale.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	111	-19	0,14
MarkingAgent B	139	9	0,26
MarkingAgent C	140	10	0,31
MarkingAgent D	130	0	0,26
Aggregata	130	0	0,25
IDEALE	130	-	-

Tabella 6.2: Scenario 2.

Alcune considerazioni sui dati in Tabella 6.2:

- Marking Agent A: la traccia generata riscontra un posizionamento inferiore rispetto al baricentro ideale (-19) e questo indica che i dati tracciati corrispondono a prestazioni di puntualità migliore dei trasportatori; in questo caso anche un livello di similarità relativamente basso (0,14) non comporta un problema perché derivante da uno scostamento positivo;
- Marking Agent B e C: la traccia ha un baricentro leggermente peggiore rispetto a quello ideale (+10 e +9) ma i valore di similarità (0,26 e 0,31) sono vicini a quello corrispondente della similarità aggregata (0,25); la situazione è comunque nella norma;
- Marking Agent D: si posiziona esattamente nel baricentro (130) ed ha una similarità nella norma (0,26);
- Da notare come i MarkingAgent B e D abbiano lo stesso valore di similarità (0,26) ma valori ben diversi di baricentro, uno positivo ed uno neutro;

Scenario 3

Il terzo scenario proposto riprende le stesse distribuzioni utilizzate nel secondo ma si

attribuiscono diversi criteri di offuscamento ai diversi Marking Agent; nello scenario precedente infatti si nota nell'Illustrazione 18 come una delle tracce, quella rossa, abbia una forma definita e facilmente riconducibile ad un triangolo, ovvero alla sommatoria dei markers che l'hanno generata. Inoltre la traccia rossa è quella con prestazioni migliori e quindi è probabile che l'azienda corrispondente abbia interesse ad offuscare maggiormente i propri dati rispetto alle altre.

In questo scenario i Marking Agent osserveranno gli stessi dati identici a quelli precedenti, ma le ampiezze dei markers saranno:

- Marking Agent A – Colore Rosso: Ampiezza 40
- Marking Agent B – Colore Verde: Ampiezza 20
- Marking Agent C – Colore Giallo: Ampiezza 20
- Marking Agent D – Colore Ciano: Ampiezza 20

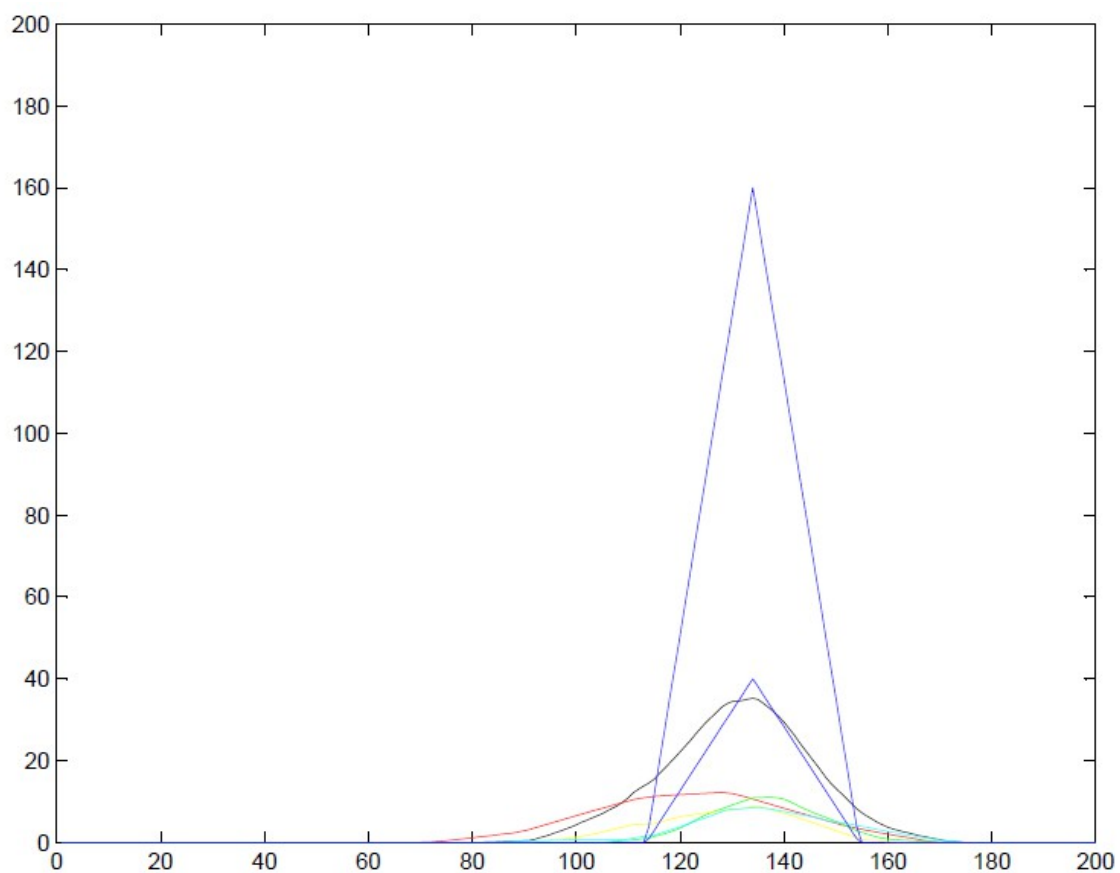


Illustrazione 18: Scenario 3.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	111	-19	0,25
MarkingAgent B	139	9	0,25
MarkingAgent C	140	10	0,26
MarkingAgent D	130	0	0,31
Aggregata	130	0	0,26
IDEALE	130	-	-

Tabella 6.3: Scenario 3.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
MarkingAgent A	0,35	0,14	0,25
MarkingAgent B	0,35	0,26	0,25
MarkingAgent C	0,35	0,31	0,26
MarkingAgent D	0,35	0,26	0,31
Aggregata	0,35	0,25	0,26

Tabella 6.4: confronto Scenari 1, 2 e 3.

Prendiamo in considerazione i due attributi della nostra analisi: distanza dal baricentro ideale e similarità in Tabella 6.4.

Per quanto riguarda il calcolo dei baricentri essendo indipendenti dall'ampiezza dei markers rilasciati non si osservano differenze passando dallo Scenario 2 a 3, come invece si sono osservate passando dallo Scenario 1 al 2.

In merito ai valori di similarità si possono fare alcune osservazioni:

Lo Scenario 1 mette a disposizione dei valori di similarità in una condizione di equivalenza delle prestazioni osservate dai Marking Agent e quindi possiamo prenderlo come situazione di riferimento.

Lo Scenario 2, dove abbiamo modificato le distribuzioni simulando diversi livelli di prestazioni per Marking Agent, vede un calo della similarità che possiamo interpretare come una presenza di eterogeneità delle tracce prodotte. La traccia A risulta quella più distante dalla situazione di riferimento dello Scenario, ma come abbiamo visto è dovuto al fatto che i dati passati al Marking Agent sono indicativi di una elevata puntualità dei trasportatori ed infatti lo scostamento del baricentro da quello ideale è verso il basso.

Lo Scenario 3 vede il Marking Agent A mettere in atto un offuscamento parziale dei dati aumentando l'ampiezza dei propri markers da 20 a 40. L'effetto di questa azione si ripercuote su tutta l'analisi anche se non in maniera drastica: la similarità di A aumenta, a causa del fatto che la propria traccia essendo più ampia copre una superficie maggiore che si sovrappone alla curva ideale; la similarità di B rimane pressoché costante, mentre quelle di C e D cambiano di 0,05 rispettivamente in più ed in meno; la similarità

aggregata aumenta leggermente, passando da 0,25 a 0,26 e questo è sempre conseguenza dell'aumento dell'area della curva aggregata come riflesso dell'aumento della traccia di A.

Scenario 4

In questo scenario partiamo dai dati originali con le distribuzioni normali con media 20 e deviazione standard e senza offuscamento. Tre Marking Agent, B,C e D, osserveranno i dati di questa distribuzione mentre al Marking Agent A daremo dei dati più irregolari: alterneremo dati nella media con dati molto positivi, simulando una situazione in cui l'azienda relativa a questo Marking Agent si affida a due trasportatori per le consegne di cui uno molto puntuale ed uno nella media.

Nell'Illustrazione 19 vediamo che le tracce dei Marking Agent B, C e D sono molto simili come nello Scenario 1 mentre la traccia A assume una forma con due punte relative alle prestazioni concentrate dei due trasportatori.

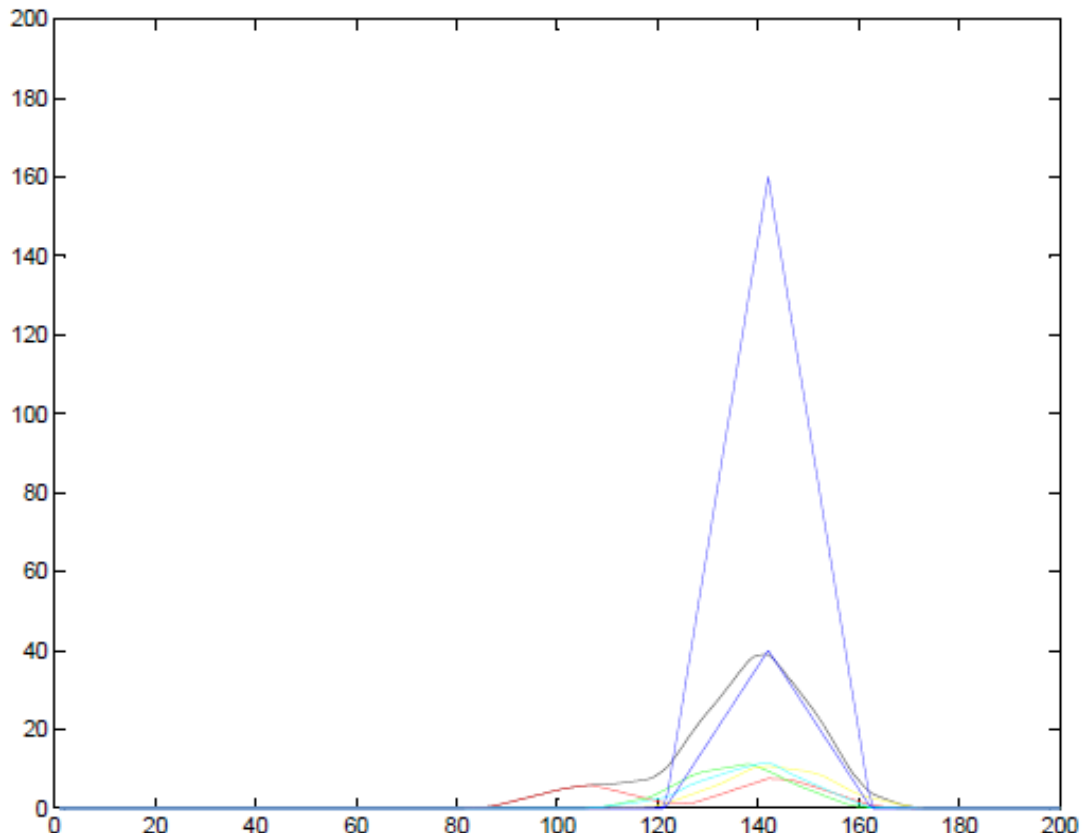


Illustrazione 19: Scenario 4.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	138	-2	0,18
MarkingAgent B	138	-2	0,31
MarkingAgent C	142	2	0,33
MarkingAgent D	142	2	0,32
Aggregata	140	0	0,28
IDEALE	140	-	-

Tabella 6.5: Scenario 4.

Dalla Tabella 6.5 vediamo come la distanza dal baricentro risulta pressoché uguale per tutte le tracce; riscontro diverso abbiamo invece per la similarità che risulta molto inferiore per la traccia A in quanto la superficie in comune è inferiore a causa dell'irregolarità della forma.

La similarità in questo caso mostra come la traccia A sia estremamente diversa alla traccia ideale che emerge dall'accumularsi delle altre tracce che invece sono relativamente simili tra loro.

Scenario 5

In questo scenario applichiamo l'offuscamento sempre al Marking Agent A in modo da cercare di rendere la traccia meno leggibile. Infatti la forma della traccia A nello scenario precedente risulta abbastanza facilmente decifrabile, non tanto per la parte destra che è conforme alle altre, ma per quanto riguarda la parte sinistra che manifesta delle prestazioni di puntuali migliori e ne individua anche il dato dato che la sagoma è molto vicina a quella di un triangolo.

I marker rilasciati dal Marking Agent A saranno quindi di ampiezza 40, mentre gli altri tre rimarranno di ampiezza 20.

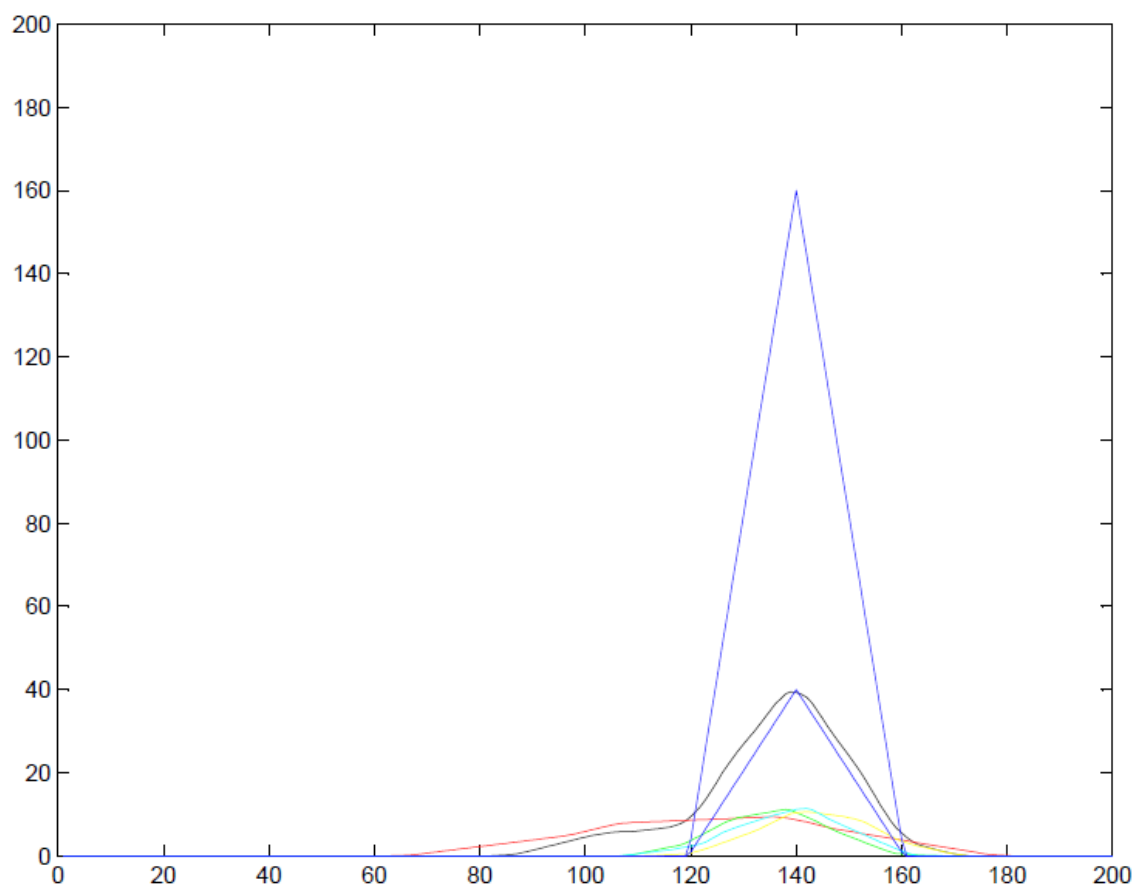


Illustrazione 20: Scenario 5.

Dall'illustrazione 20 si vede come l'offuscamento applicato renda la traccia più simile ad un trapezio isoscele. Anche in questo caso vediamo come ampliando l'ampiezza dei marker i dati originari dai quali è stata creata la traccia risultano difficilmente recuperabili,

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	136	-3	0,25
MarkingAgent B	138	-1	0,32
MarkingAgent C	142	3	0,32
MarkingAgent D	142	3	0,33
Aggregata	139	0	0,28
IDEALE	139	-	-

Tabella 6.6: Scenario 5.

La Tabella 6.6 mostra come l'effetto dell'offuscamento abbia influenzato minimamente la posizione e quindi le distanze dei baricentri. L'influenza è maggiore sulla similarità per quanto riguarda il Marking Agent A perché, come visto nello Scenario 3, l'offuscamento provoca l'aumento dell'area della traccia facendo innalzare la similarità corrispondente.

La similarità di A resta comunque inferiore a quella delle altre tracce e della curva aggregata.

Scenario 6

Il seguente scenario vede l'utilizzo di dati di input generati manualmente in un intervallo tra 0 e 40 simulando i minuti di ritardo delle consegne dei trasportatori.

I valori sono raggruppati in modo da avere serie con media e varianza diverse per i quattro Marking Agent in modo da avere delle serie differenti da confrontare:

- Marking Agent A – Colore Rosso: Media 7,67 Deviazione Standard 7,76
- Marking Agent B – Colore Verde: Media 11,67 Deviazione Standard 11,9
- Marking Agent C – Colore Giallo: Media 10 Deviazione Standard 11,5
- Marking Agent D – Colore Ciano: Media 14,33 Deviazione Standard 14

I marker lasciati dagli agenti sono di eguale ampiezza 20.

Dall'Illustrazione 21 notiamo come la traccia D, color ciano, assuma una forma molto irregolare rispetto alle altre che invece sono molto più regolari: nel prossimo scenario cercheremo di aumentare l'ampiezza per vedere di rendere più ampie queste tracce aumentandone la superficie per renderle meno decifrabili.

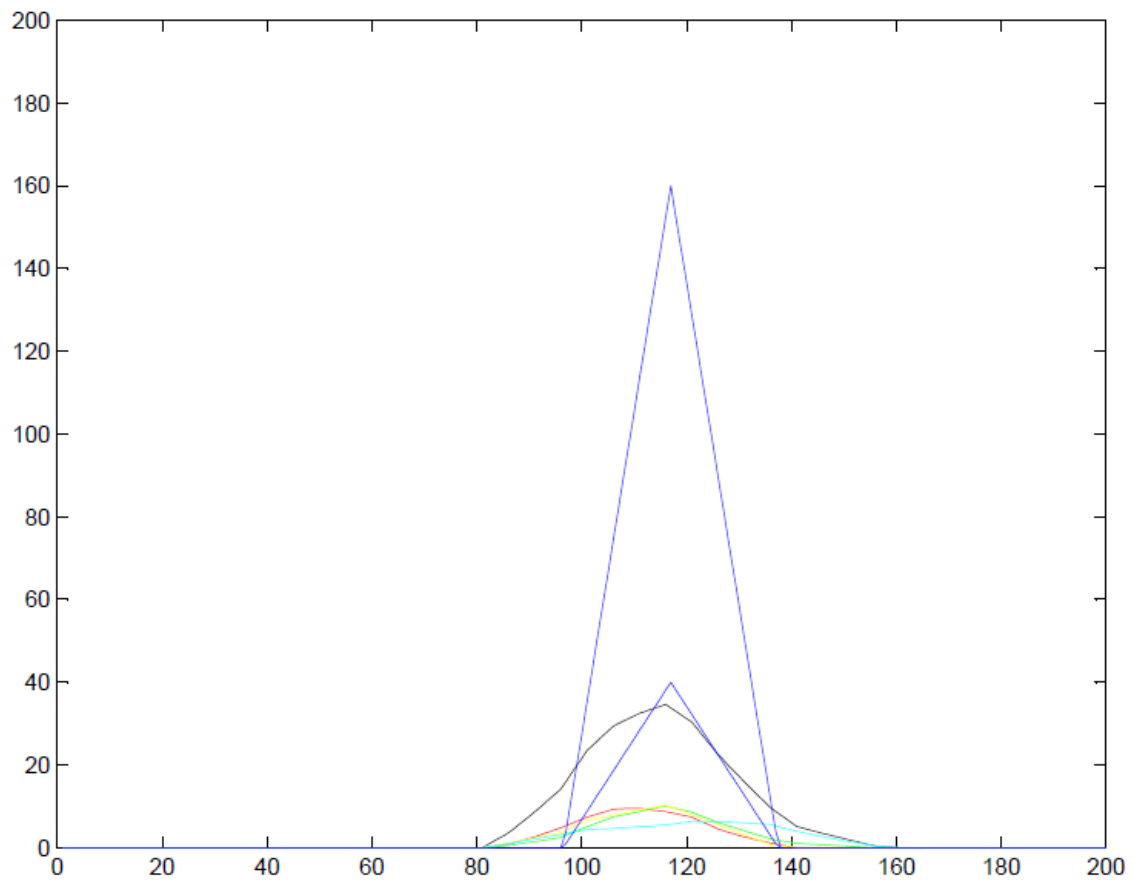


Illustrazione 21: Scenario 6.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	111	-5	0,29
MarkingAgent B	116	0	0,3
MarkingAgent C	116	0	0,3
MarkingAgent D	121	5	0,23
Aggregata	116	0	0,28
IDEALE	116	-	-

Tabella 6.7: Scenario 6.

Scenario 7

In questo scenario utilizziamo i dati di input dello Scenario 6, ma considerando la differenza della media e della varianza delle serie di dati impostiamo diversi livelli di offuscamento per ciascun Marking Agent: più alta, e quindi più ampio il marker, per l'agente A che ha media e varianza più basse e quindi dati relativamente migliori agli altri, un valore intermedio per gli agenti B e C e un'ampiezza ridotta per l'agente D che ha i dati con media e varianza maggiori, ovvero dati peggiori.

- Marking Agent A – Colore Rosso: Ampiezza 60
- Marking Agent B – Colore Verde: Ampiezza 40
- Marking Agent C – Colore Giallo: Ampiezza 40
- Marking Agent D – Colore Ciano: Ampiezza 20

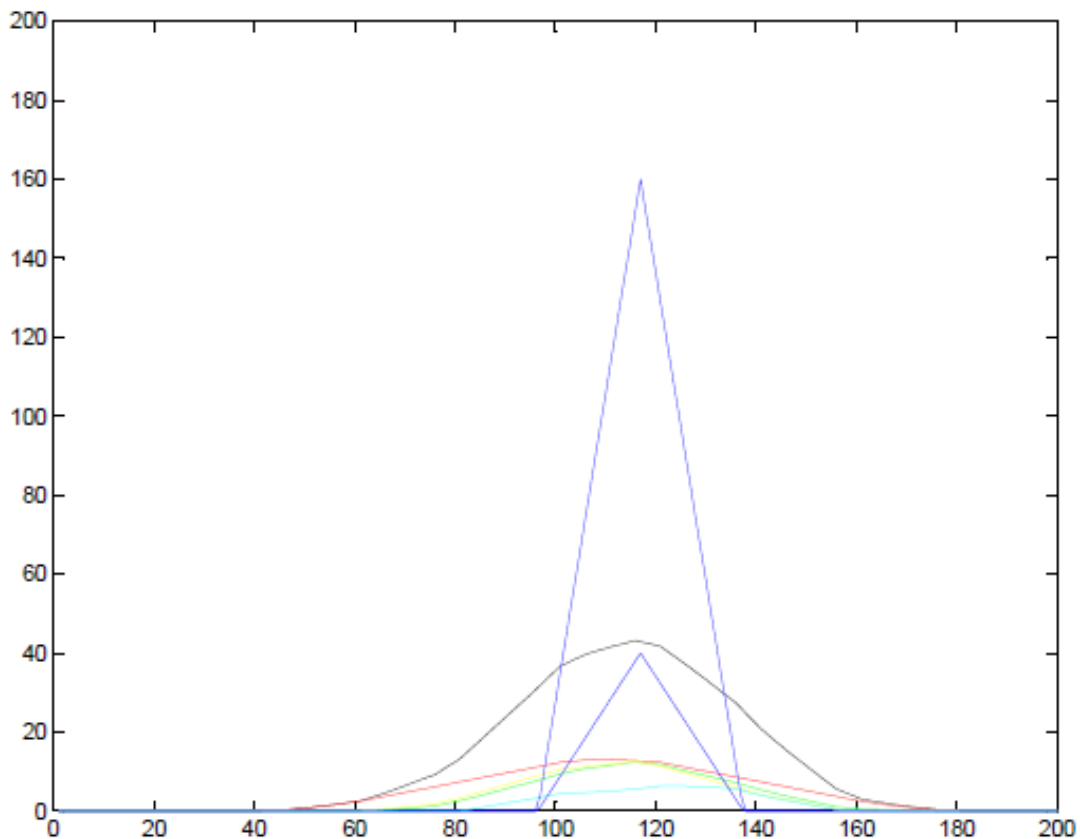


Illustrazione 22: Scenario 7.

L'aumento dell'ampiezza delle tracce va ad uniformare le forme: vediamo nell'Illustrazione 22 come la forma della traccia D resta identica a come era nello scenario precedente mentre le altre di cui abbiamo aumentato l'ampiezza dei markers assumo delle curve molto più ampie così da rendere più incerta la risalibilità ai dati.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	111	-5	0,32
MarkingAgent B	116	0	0,32
MarkingAgent C	116	0	0,37
MarkingAgent D	121	5	0,23
Aggregata	116	0	0,33
IDEALE	116	-	-

Tabella 6.8: Scenario 7.

Scenario 8

In quest'ultimo scenario prendiamo i dati dello Scenario 6 ed eseguiamo la stessa procedura di analisi modificando il coefficiente di evaporazione dell'ambiente.

Ricordando che nelle analisi precedenti era impostato a 0,75, in questo scenario lo settiamo a 0,50 in questo modo la diminuzione dell'intensità dei marker sarà più veloce.

L'effetto è quello di vedere nell'Illustrazione 23 i marker scomparire più velocemente e contribuire a formare delle tracce più piccole (l'immagine non è stata adattata per marcare questo aspetto nei confronti delle altre immagini). Anche i valori degli indici calcolati in Tabella 6.9 sono leggermente diversi e questo è dovuto al fatto che i valori dei markers lasciati per ultimi pesano di più nella traccia perché più intensi dei precedenti.

Questo scenario ricorda vagamente il problema della scelta della finestra per il calcolo della media mobile in statistica descrittiva, in cui la media viene fatta sugli ultimi N campioni di una serie e la scelta di N influenza il valore della media calcolata.

Così, il valore che si sceglie per l'evaporazione modifica il risultato dell'analisi: per valori più alti, vicini ad 1, i marker decadranno più lentamente e quindi i dati storici più remoti manterranno un peso maggiore nel tempo, per valori più bassi, vicini a 0, i marker evaporeranno velocemente e la traccia sarà una rappresentazione pesata sui dati più recenti.

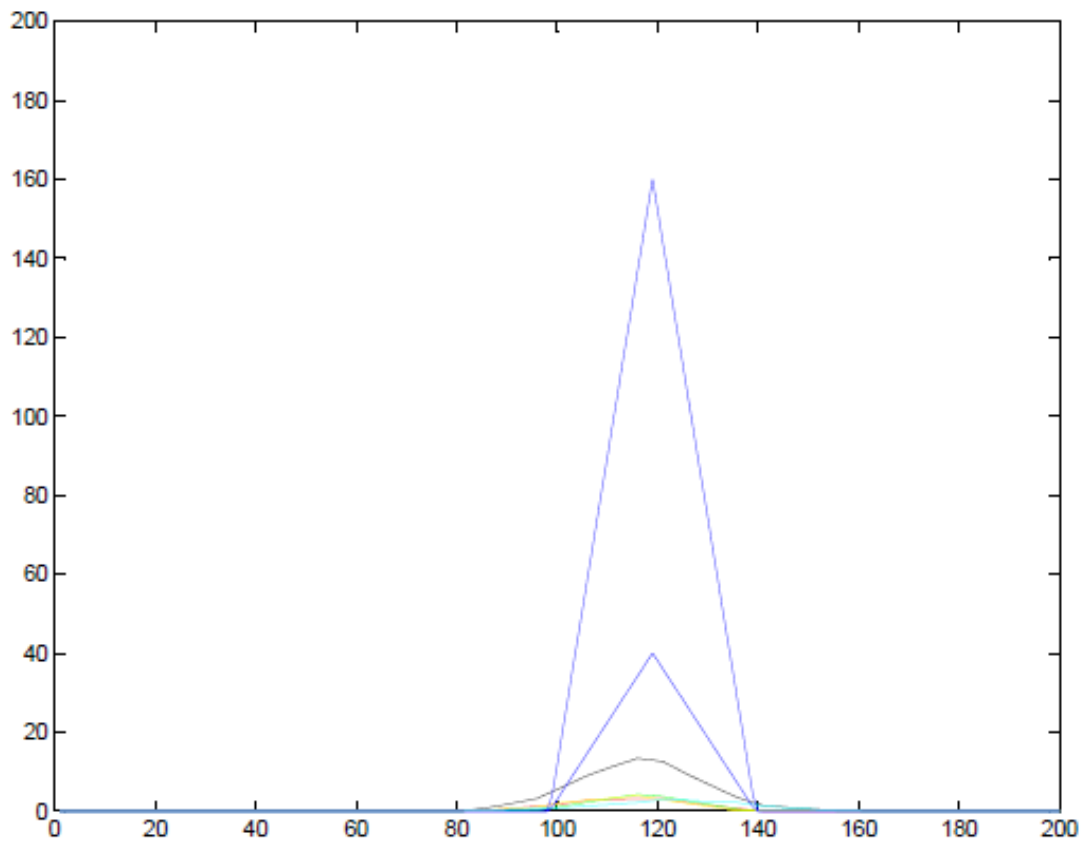


Illustrazione 23: Scenario 8.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
MarkingAgent A	121	3	0,1
MarkingAgent B	116	-2	0,11
MarkingAgent C	116	-2	0,1
MarkingAgent D	121	3	0,09
Aggregata	118	0	0,1
IDEALE	118	-	-

Tabella 6.9: Scenario 8.

6.3.2 Prova di stabilità

In questa simulazione consideriamo una situazione dinamica rispetto ai precedenti contesti: prendiamo in oggetto la situazione nell'Illustrazione 24 in cui 4 aziende che partecipano ad un contesto collaborativo acquistando servizi di logistica da 3 diversi trasportatori. I trasportatori vengono valutati dalle aziende singolarmente in base alla puntualità come negli esempi precedenti. Ogni azienda conosce i propri fornitori ma non ha informazioni su quali fornitori sono utilizzati dalle altre aziende.

La prova di stabilità si divide in tre step:

1. una prima analisi della situazione;
2. reazione delle aziende ai risultati dell'analisi;
3. reazione dei trasportatori alla reazione delle aziende;

Step 1

Le aziende sono interessate a fare un'analisi collettiva delle prestazioni dei trasportatori per capire come si collocano i propri rispetto a quelli utilizzati dagli altri.

I dati relativi ai ritardi dei trasportatori sono generati casualmente in differenti intervalli per simulare diversi livelli di prestazione (in minuti di ritardo):

- Trasportatore 1: Media 15,63, Deviazione Standard 8,45
- Trasportatore 2: Media 23, Deviazione Standard 13,74
- Trasportatore 3: Media 30,27, Deviazione Standard 18,8

Ipotizzando che, come si vede nell'Illustrazione 24, l'Azienda 1 si affidi ai Trasportatori 1 e 2, mentre le Aziende 2, 3 e 4 si affidino ai trasportatori 2 e 3 abbiamo formato dei campioni di dati provenienti dalle distribuzioni sopra descritte e fatti analizzare dai Marking Agent delle rispettive aziende per formare le tracce e poi all'Analyst Agent per

i risultati.

Essendo la prima analisi supponiamo che i Marking Agent non abbiano particolari istruzioni su quanto oscurare i dati e quindi rilasciano dei marker di ampiezza 20. L'evaporazione dei marker è impostata a 0,75.

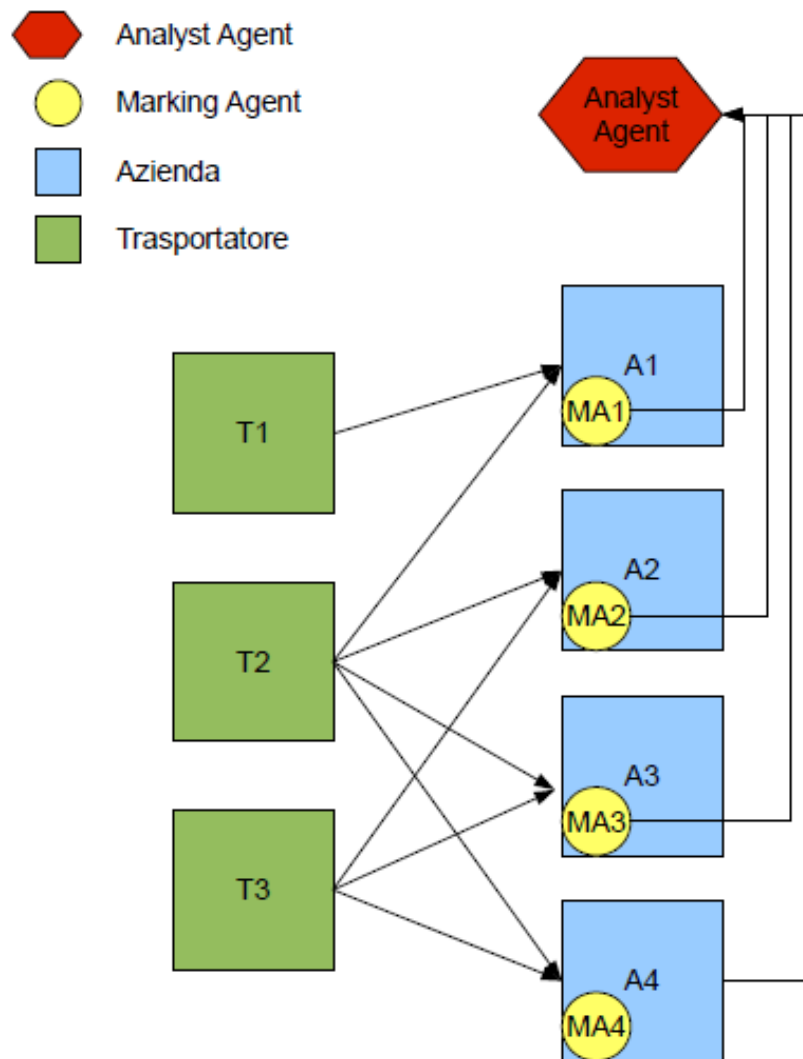


Illustrazione 24: Scenario con 4 aziende che valutano le prestazioni dei propri trasportatori individualmente e collettivamente

Nell'Illustrazione 25 vediamo le tracce formate da 15 dati analizzati da ciascun marker e nella Tabella 6.10 i dati relativi ai baricentri e alla similarità.

I dati messi a disposizione di ogni singola azienda sono:

- il proprio baricentro;
- il baricentro ideale,
- la propria similarità;

Considerando che stiamo valutando il ritardo dei trasportatori e quindi maggior ritardo implica una prestazione peggiore, le informazioni ricavate da ogni singola azienda dall'analisi sono:

- Azienda 1: i trasportatori utilizzati, T1 e T2, hanno delle prestazioni migliori (distanza dal baricentro negativa) rispetto quelle degli altri utilizzati dalle altre aziende partecipanti all'analisi;
- Azienda 2 e 3: le prestazioni dei propri trasportatori sono inferiori (distanza dal baricentro positiva) ma la similarità è abbastanza alta e quindi vuol dire che rientrano tendenzialmente nelle prestazioni medie;
- Azienda 4: le prestazioni dei propri trasportatori sono nella media perché il baricentro ha valore vicino a quello ideale e la similarità è nella norma rispetto a quella tra curva aggregata ed ideale;

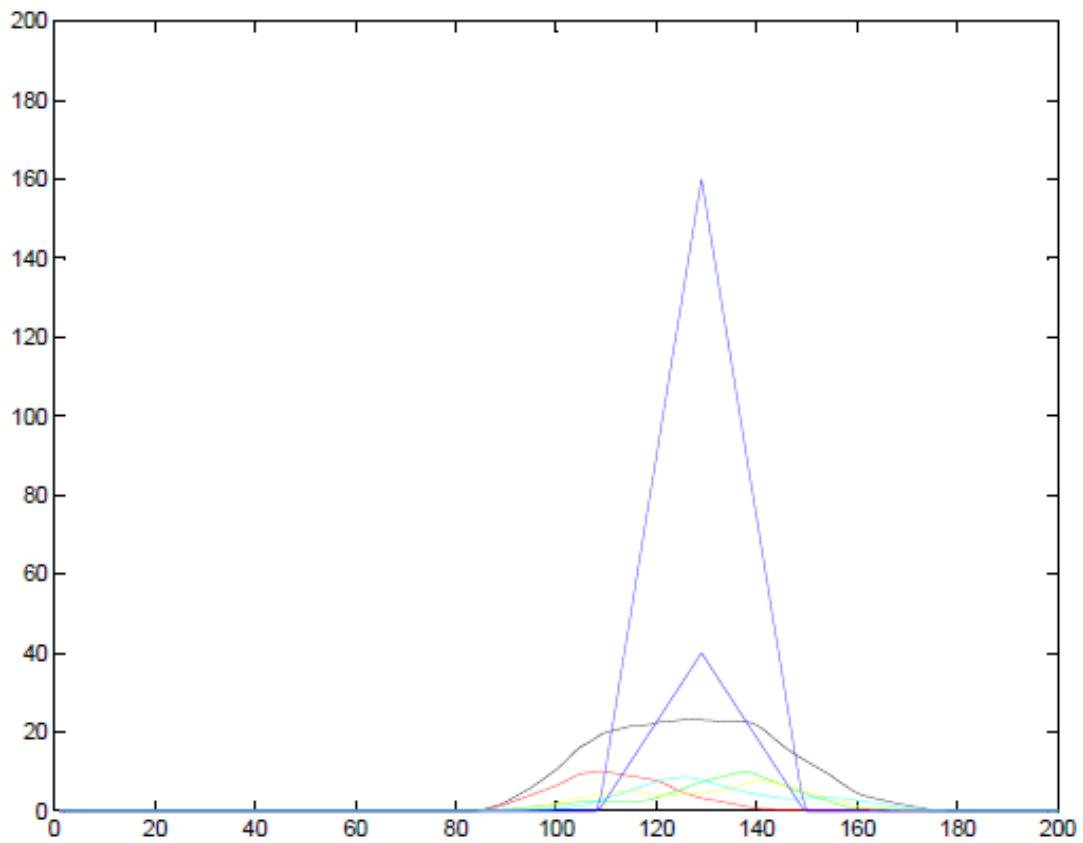


Illustrazione 25: Prova di stabilità Step 1.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
Azienda 1	109	-19	0,16
Azienda 2	138	10	0,26
Azienda 3	141	13	0,22
Azienda 4	126	-2	0,25
Aggregata	128	0	0,22
IDEALE	128	-	-

Tabella 6.10: Prova di stabilità Step 1.

Step 2

Le nuove informazioni a disposizione delle aziende sono una componente critica per nuove scelte operative, tattiche e strategiche. Nella nostra simulazione consideriamo in particolare il punto di vista delle aziende che hanno riscontrato che le prestazioni dei propri trasportatori sono nella media in quanto solo una delle quattro aziende, l'Azienda 1, riscontra che un proprio trasportatore, il Trasportatore 1, ha prestazioni migliori rispetto alle altre. In un'ottica volta al miglioramento consideriamo che una delle aziende che si affidano ai Trasportatori 2 e 3 possa decidere di ricercare nel mercato altri fornitori di servizi logistici che possano garantire livelli di prestazioni in termini di puntualità più elevati; supponiamo dunque che l'Azienda 2, dopo aver valutato altri trasportatori, entri in contatto con il Trasportatore 1 al quale decide di affidare parte dei propri trasporti.

In sintesi le modifiche rispetto allo step 1 sono:

- Azienda 1: riconoscendo la propria posizione di vantaggio rispetto alle altre il Marking Agent aumenta l'offuscamento dei dati passando da ampiezza 20 a 40;
- Azienda 2: dati i riscontri sulle prestazioni l'azienda ricerca nel mercato nuovi trasportatori ed individua il Trasportatore 1; rendendosi conto che questo effettua le consegne con ritardo inferiore agli altri gli affida 1/3 dei propri trasporti riducendo quelli dei Trasportatori 2 e 3;
- Aziende 3 e 4: non modificano il proprio comportamento;

Vediamo come le modifiche sopra elencate influenzano la successiva analisi.

I dati passati ai Marking Agent sono lasciati invariati per quanto riguarda le Aziende 1, 3 e 4, mentre quelli dell'Azienda 2 sono composti da dati ripartiti in modo equo tra le distribuzioni preparate per i Trasportatori 1, 2 e 3.

Dall'Illustrazione 26 e dalla Tabella 6.11 vediamo come si è evoluta la situazione:

- dal punto di vista collettivo vi è un aumento della similarità aggregata da 0,22 a 0,25 causato dall'offuscamento operato dal Marking Agent 1 e dallo spostamento della traccia del Marking Agent 2 verso sinistra;
- dal punto di vista delle singole aziende:
 - Azienda 1: mantiene una posizione di vantaggio competitivo (distanza dal baricentro ideale negativa) ma vede una diminuzione di questo vantaggio a causa dell'aumentare della similarità;
 - Azienda 2: la scelta strategica ha comportato un miglioramento delle prestazioni e lo si può dedurre sia dallo spostamento dei baricentro che dalla similarità;
 - Aziende 3 e 4: nonostante non abbiano modificato la propria strategia vedono peggiorare la propria posizione, quindi possono dedurre che qualche altra azienda che ha partecipato all'analisi ha adoperato dei miglioramenti;

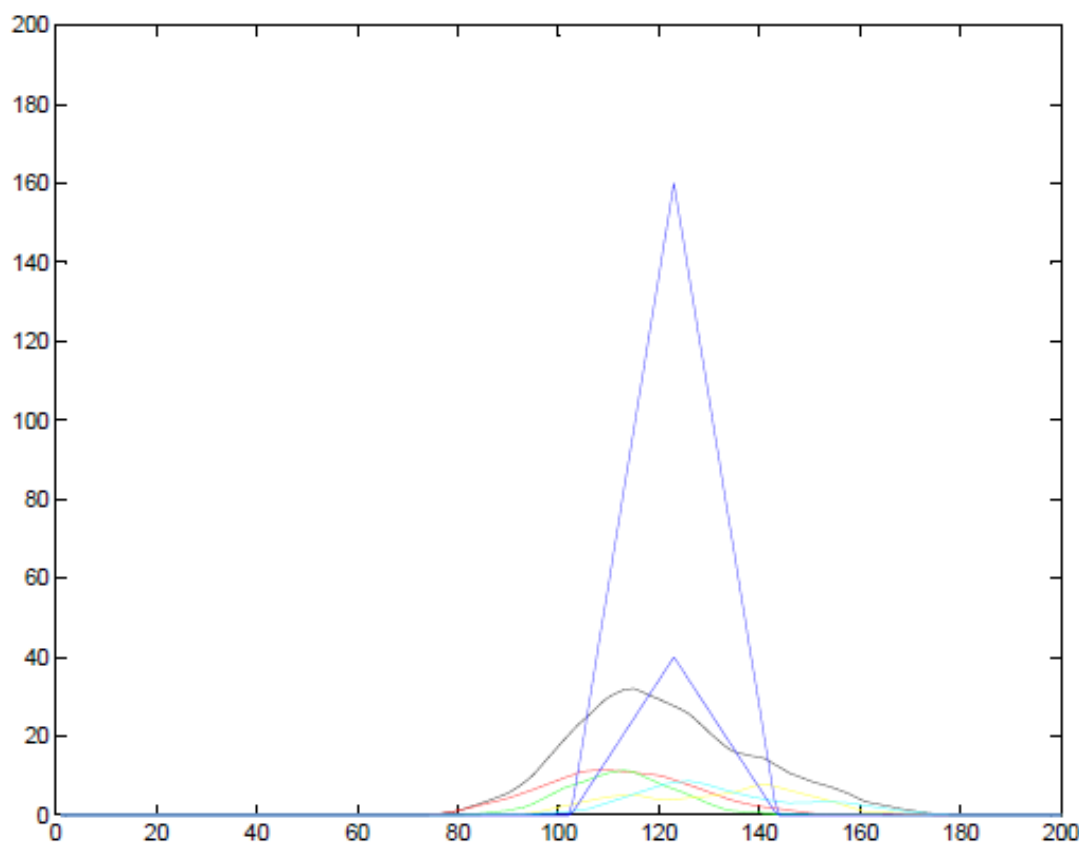


Illustrazione 26: Prova di stabilità Step 2.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
Azienda 1	109	-13	0,28
Azienda 2	113	-9	0,24
Azienda 3	141	19	0,2
Azienda 4	126	4	0,24
Aggregata	122	0	0,25
IDEALE	122	-	-

Tabella 6.11: Prova di stabilità Step 2.

Step 3

In quest'ultimo step lasciamo invariate le strategie delle aziende ma valutiamo come le

scelte fatte nello step 2 possano influire sulle prestazioni dei trasportatori e sul loro comportamento strategico; infatti dallo Step 1 allo Step 2 il Trasportatore 1 vede la propria domanda incrementare dato che adesso ha come clienti sia l'Azienda 1 che la 2, i Trasportatori 2 e 3 vedono invece la propria domanda diminuire.

Supponiamo quindi che nel breve periodo non sia possibile effettuare delle modifiche sui fattori produttivi in modo da adeguarsi alla nuova domanda e che a causa dell'aumento di domanda il Trasportatore 1 abbia un peggioramento, lieve, delle proprie prestazioni mentre i Trasportatori 2 e 3 un miglioramento a causa del minor carico di lavoro.

Conseguenza di quanto detto si riflette sui dati osservati dai Marking Agent: i dati relativi al Trasportatore 1 saranno aumentati ciascuno di 5 minuti per riflettere un peggioramento della prestazione, mentre quelli dei Trasportatori 2 e 3 diminuiti di 5 minuti.

Dai risultati nell'Illustrazione 27 e in Tabella 6.12 vediamo come l'effetto dato dalle modifiche sia quello di livellare le differenze in termini di distanza ideale dei baricentri e di conseguenza avere un aumento della similarità in generale. Questo è dovuto all'uniformarsi delle prestazioni dei trasportatori.

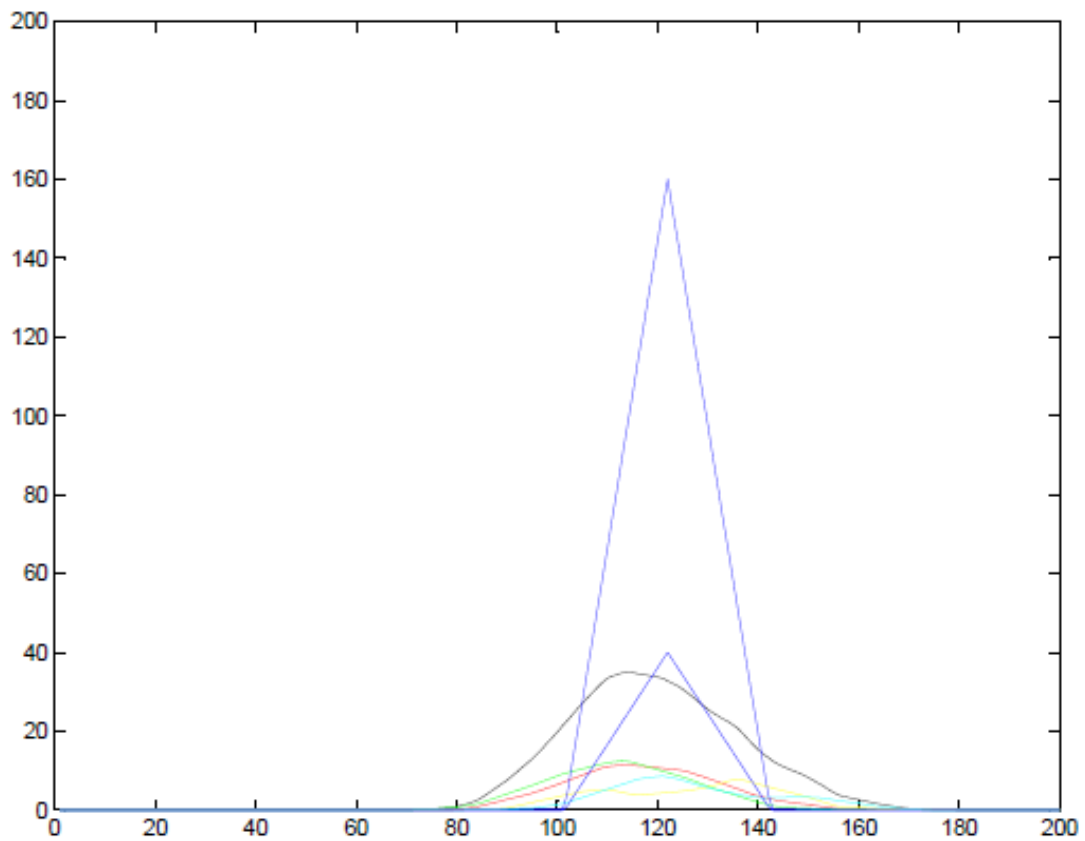


Illustrazione 27: Prova di stabilità Step 3.

	Baricentro	Distanza da Ideale	Similarità con Ideale
Azienda 1	114	-7	0,36
Azienda 2	113	-8	0,32
Azienda 3	136	15	0,22
Azienda 4	121	0	0,25
Aggregata	121	0	0,29
IDEALE	121	-	-

Tabella 6.12: Prova di stabilità Step 3.

7 CONCLUSIONI E LAVORI FUTURI

I risultati della simulazione indicano che dal punto di vista della tutela della privacy dei dati delle singole aziende il modello è in grado di effettuare analisi di attività in contesti collaborativi distribuiti sfruttando il concetto di baricentro e di similarità.

Negli scenari proposti nella simulazione abbiamo cercato di riprodurre delle situazioni per testare la capacità del sistema di rendere le tracce lasciate dagli agenti condivisibili e sufficientemente informative per poter dedurre degli indicatori prestazionali ed allo stesso tempo impedire che gli aventi accesso alle tracce potessero risalire in modo univoco ai dati originali.

Nella prima parte della simulazione emergono i fattori relativi al modello che permettono un offuscamento efficace dei dati nelle tracce:

- *evaporazione dei marker*: un valore elevato di evaporazione comporta il mantenimento dei marker nel tempo e quindi una maggiore influenza dei dati temporalmente più remoti; se invece vogliamo che la traccia sia influenzata da dati recenti occorre utilizzare un valore più basso di evaporazione;
- *l'ampiezza del marker* deve essere sufficiente a generare una traccia non riconducibile a forme triangolari, possibilmente evitando i tratti rettilinei, in modo da ridurre la leggibilità e la probabilità di risalire ai dati originali; questo è sicuramente uno dei compiti da approfondire che devono essere gestiti dal Marking Agent nel momento in cui incomincia a tracciare i dati e rilasciare i marker;
- il *numero di Marking Agent* presenti deve essere consistente per aumentare la quantità di tracce messe a confronto e diminuire così la dipendenza della curva aggregata da casi particolari che potrebbero favorire la risalibilità ai dati;

Nella prova di stabilità è stato simulato un contesto economico in cui un gruppo di aziende analizza le prestazioni dei propri fornitori e, in funzione di queste, ognuna mette in atto scelte strategiche basate sui risultati delle analisi. Le azioni e le reazioni proposte rispecchiano quelli che sono spesso i comportamenti attesi in un contesto economico reale: il riconoscimento di una situazione di vantaggio induce spesso reticenza alla diffusione dei propri dati e questo viene simulato aumentando l'offuscamento; la manifestazione di una situazione di inefficienza nei risultati d'analisi fa scaturire nelle aziende la presa di decisioni volte al miglioramento dei processi e nel nostro caso viene rappresentato dalla ricerca di fornitori migliori rispetto a quelli attuali; i fattori produttivi fissi non sono modificabili nel breve periodo e le fluttuazioni impreviste della domanda possono far verificare delle inefficienze nel sistema. Dalla simulazione di questi aspetti risulta nel modello la capacità di mettere in evidenza la presenza di situazioni di vantaggio e svantaggio nella rete senza individuare né compromettere gli interessi delle aziende e la tutela delle proprie informazioni. Il solo sapere che un determinato processo può essere svolto in modo migliore può essere un fattore incentivante al miglioramento. Questa condizione è messa ancor più in evidenza tanto maggiore è la partecipazione delle aziende alle analisi, così da dedurre che i risultati dell'analisi dovrebbero essere resi disponibili interamente a tutte le aziende che hanno partecipato in modo da aumentare la trasparenza ed incentivare l'interesse a produrre tracce da somministrare.

L'ulteriore ricerca sull'analisi di flussi di attività utilizzando questo modello dovrebbe integrare i risultati ottenuti con l'individuazione di soluzioni volte a fornire indici di prestazioni e strumenti per i dirigenti aziendali che considerino più parametri di analisi contemporaneamente. Il modello attuale infatti effettua un'analisi monodimensionale, ovvero rispetto ad un'unica misura relativa all'attività in oggetto, ma risulta necessario ampliare questo tipo di analisi a livelli multidimensionali per consentire una visione integrata e coesa degli aspetti caratteristici del processo.

Bibliografia

1. Luis M. Camarinha-Matos, Hamideh Afsarmanesh, *Collaborative Networks: a new scientific discipline*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 16, N. 4-5, 2005, pp.439-452
2. Luis M. Camarinha-Matos, Hamideh Afsarmanesh, *Classes of Collaborative Networks*, Encyclopedia of Networked and Virtual Organizations, Goran D. Putnik and MariaManuela Cunha (Idea Group), 2008
3. Luis M. Camarinha-Matos, *Collaborative networked organizations: Status and trends in manufacturing*, Annual Reviews in Control, Vol. 33, N. 2, 2009, pp.199-208
4. Kenneth C. Laudon, Jane P. Laudon, Management Information Systems, Prentice Hall, 2013
5. Wooldridge, An Introduction to MultiAgent Systems, John Wiley & Sons Inc, 2001
6. Stuart Russell, Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson Education Limited, 2010
7. H. Van Dyke Parunak, *A Survey of Environments and Mechanisms for Human-Human Stigmergy*, Environments for Multi-Agent Systems II Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3830, N. , 2005, pp.163-186
8. Marco Avvenuti, Daniel Cesarini, Mario G. C. A. Cimino, *MARS, a Multi-Agent System for Assessing Rowers' Coordination via Motion-Based Stigmergy*, Sensors, Vol. , N. 13, 2013, pp.12218-12243
9. Ovidiu Noran, *Towards a Meta-Methodology of Collaborative Networked Organizations*, IFIP International Federation for Information Processing, Vol. 149, N. , 2004, pp.71-78
10. Accetturo ed altri, Il sistema industriale italiano tra globalizzazione e crisi, Banca d'Italia, 2013, Questioni di Economia e Finanza, N.193
11. Philip Kotler, Gary Armstrong, Principles of Marketing, Prentice Hall, 2013
12. Banca d'Italia, *Gli indicatori del clima di fiducia e l'evoluzione economica*, Bollettino mensile BCE, Vol. , N. , Gennaio 2013, pp.
13. Philip Kotler (Autore), Hermawan Kartajaya (Autore), Iwan Setiawan (Autore), A. Guaraldo (Traduttore) , Marketing 3.0, Il Sole 24 Ore, 2010
14. Lorenzo Ros McDonnell, Maria Victoria De La Fuente Aragon, *Information*

- Technology in Collaborative Networks, New Trends in Technologies: Control, Management, Computational Intelligence and Network Systems*, , Vol. , N. , 2010, pp.
15. W. M. P. van der Aalst, *Challenges in Business Process Analysis*, Enterprise Information Systems Lecture Notes in Business Information Processing, Vol. 12, N. , 2009, pp.27-42
16. Papazoglou, M.P. ; Tilburg Univ., Tilburg ; Traverso, P. ; Dustdar, S. ; Leymann, F., *Service-Oriented Computing: State of the Art and Research Challenges*, Computer, Vol. 40, N. 11, 2007, pp.38-45
17. Mariana Carroll, Paula Kotzé, Alta van der Merwe, *Securing Virtual and Cloud Environments*, Cloud Computing and Services Science, Vol. , N. , 2012, pp.73-90
18. Agostino Poggi , Michele Tomaiuolo , Paola Turci, *An Agent-Based Service Oriented Architecture*, , Vol. , N. , 2007, pp.
19. Jacques Ferber, *Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Pub, 1999

Indice delle tabelle

Tabella 6.1: Scenario 1.....	80
Tabella 6.2: Scenario 2.....	82
Tabella 6.3: Scenario 3.....	84
Tabella 6.4: confronto Scenari 1, 2 e 3.....	85
Tabella 6.5: Scenario 4.....	87
Tabella 6.6: Scenario 5.....	90
Tabella 6.7: Scenario 6.....	92
Tabella 6.8: Scenario 7.....	93
Tabella 6.9: Scenario 8.....	95
Tabella 6.10: Prova di stabilità Step 1.....	99
Tabella 6.11: Prova di stabilità Step 2.....	102
Tabella 6.12: Prova di stabilità Step 3.....	104

Indice delle illustrazioni

Illustrazione 1: Classi di reti collaborative, da Classes of Collaborative Networks[2]... 11	
Illustrazione 2: I KPI tra obiettivi e misure, da http://unilytics.com/services/kpi-karta ..23	
Illustrazione 3: Sistemi informativi nelle aziende, Management dei Sistemi Informativi	25
Illustrazione 4: Rappresentazione di un agente, Artificial Intelligence: A Modern Approach.....	35
Illustrazione 5: Schema del modello.....	42
Illustrazione 6: Marker triangolare rilasciato dal Marking Agent; con il passare del tempo l'intensità (altezza) del marker diminuisce.....	44
Illustrazione 7: Forma di un marker con basso offuscamento.....	45
Illustrazione 8: Forma di un marker con elevato offuscamento.....	46
Illustrazione 9: Altezza massima raggiungibile da una traccia con evaporazione 0,75...49	
Illustrazione 10: Esempio di formazione di traccia come somma di due marker identici ad A.....	50
Illustrazione 11: Esempio di formazione di una traccia, identica a quella in Illustrazione 10, ma con tre marker: un A e due B.....	51
Illustrazione 12: Marker non sovrapposti A e B generano una traccia T dalla quale si può risalire ai dati.....	52
Illustrazione 13: Traccia T prodotta da marker identici A.....	53

Illustrazione 14: Curva collettiva in nero generata da quattro tracce identiche colorate.	55
Illustrazione 15: Calcolo della similarità tra due curve o due tracce.....	56
Illustrazione 16: Scenario 1.....	79
Illustrazione 17: Scenario 2.....	81
Illustrazione 18: Scenario 3.....	84
Illustrazione 19: Scenario 4.....	87
Illustrazione 20: Scenario 5.....	89
Illustrazione 21: Scenario 6.....	91
Illustrazione 22: Scenario 7.....	93
Illustrazione 23: Scenario 8.....	95
Illustrazione 24: Scenario con 4 aziende che valutano le prestazioni dei propri trasportatori individualmente e collettivamente.....	97
Illustrazione 25: Prova di stabilità Step 1.....	99
Illustrazione 26: Prova di stabilità Step 2.....	102
Illustrazione 27: Prova di stabilità Step 3.....	104

Ringraziamenti

Il primo e più grande grazie va a coloro che non hanno mai dubitato e sempre hanno avuto fiducia in me supportandomi e sopportandomi in questi lunghi anni: la mia fantastica nonna Vittoria, i miei genitori Roberto e Neda, mia sorella Lisa, i miei zii e mia cugina Roberto, Laila ed Eleonora, il mio migliore amico Giorgio ed i suoi genitori Carlo e Maria.

Ringrazio i miei relatori: la Prof.ssa Gigliola Vaglini e l'Ing. Mario Cimino che con infinita pazienza mi hanno accompagnato in questo faticoso ma soddisfacente percorso.

Ringrazio la Prof.ssa Giovanna Colombini per l'energia che mette nel portare avanti i progetti e per avermi sempre spinto a fare di più.

Ringrazio il Prof. Antonio Albano perché è sempre stato disponibile e non mi era mai capitato che un professore mi telefonasse per darmi dei consigli.

Ringrazio tutti i compagni d'avventura che elenco in ordine alfabetico per non far "imbruttire" nessuno: Albertina, Alessio, Branca, Elena, Eleonora, Elisa, Ester, Francescalberto, Iacopo, Ilaria, Jacopo, Laura, Lorenzo, Lorenzo, Luca, Marco, Martina, Massimo, Milda, Pugliaccio, Riccardo, Stefania, Stefano, Stefano.

Ringrazio gli amici di Villa Letizia: Federica, Filippo, Giovanna, Michele, Sandra, Serena.

Ringrazio tutti gli amici della palestra, in particolare Andrea, Francesca e Valerio.

Ringrazio Silvia, perché abbiamo condiviso questo intenso periodo aiutandoci a vicenda, e Michele, Alessio e Carlo, perché sono stato felice di averli come compagni di corso in questi anni.

Ringrazio tutti quelli che mi sono dimenticato perché capiranno che non l'ho fatto per cattiveria ma solo perché sono stanchissimo e sono sicuro che mi perdoneranno.

Ringrazio Giorgio, perché un solo grazie non era abbastanza.