

UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2025/2026

Process Mining per la gestione della morosità nel settore energy & utility: discovery, conformance checking e valutazione economica di un processo di credit management

Relatore: Prof. Franco Francia

Laureanda: Locatelli Francesca

Indice

Sommario *1*

Introduzione *1*

La natura del problema **1**

I contributi reperibili in letteratura **2**

Scopo del lavoro **2**

Metodo di soluzione del problema **3**

Struttura della tesi **3**

Capitolo 1 ..... *5*

1.1 Process Mining: introduzione e contesto **5**

1.1.1 Dalla gestione dei processi aziendali (BPM) al Process Mining 5

1.1.2 Il ruolo dei dati nell'era della trasformazione digitale 5

1.1.3 Obiettivi e struttura del capitolo 6

1.2 Evoluzione storica della disciplina **6**

1.2.1 Le origini: workflow management e data mining (anni '90) 6

1.2.2 Il contributo di Wil van der Aalst e la nascita del termine "Process Mining" (primi anni 2000) 7

1.2.3 La IEEE Task Force on Process Mining e la standardizzazione (XES, dal 2009) 7

1.2.4 La diffusione commerciale: dai tool accademici (ProM) alle piattaforme enterprise (Celonis, Disco, UiPath Process Mining, SAP Signavio) 8

1.2.5 Tendenze recenti: integrazione con Robotic Process Automation (RPA), Machine Learning e Generative AI 8

1.3 Il Process Mining nel panorama del Business Process Management **9**

1.3.1 Confronto tra approccio BPM tradizionale (model-driven) e approccio data-driven 9

1.3.2 Posizionamento rispetto a discipline affini: Business Intelligence, Data Mining, Task Mining 10

1.3.3 Il ciclo di vita BPM e i punti di intervento del Process Mining 10

1.4 L'Event Log: struttura e requisiti **11**

1.4.1 Definizione di Event Log e di traccia (trace/case) 11

1.4.2 Attributi minimi obbligatori 12

1.4.3 Attributi opzionali ed estensioni (risorsa, costo, ruolo, dati di contesto) ... 12

1.4.4 Standard di rappresentazione: MXML e XES (eXtensible Event Stream) . 13

1.4.5 Qualità del dato: completezza, correttezza, granularità e problematiche di event log imperfetti (rumore, dati mancanti, eventi duplicati) 13

1.4.6 Fasi di estrazione e pre-processing (ETL, event correlation, abstraction) .. 14

1.5 Le quattro prospettive fondamentali del Process Mining **14**

1.5.1 Prospettiva di controllo di flusso (control flow) 15

1.5.2 Prospettiva organizzativa (risorse e ruoli) 15
1.5.3 Prospettiva dei dati e dei casi 16
1.5.4 Prospettiva temporale (tempi ed SLA) 16
1.6 Process Discovery 16
1.6.1 Definizione, obiettivi e input/output del processo di scoperta 17
1.6.2 Requisiti di un algoritmo di discovery: fitness, precision, generalization, simplicity (il "quadrilatero della qualità") 17
1.6.3 Rappresentazioni target dei modelli scoperti 17
1.6.4 Algoritmi principali di discovery 18
1.6.5 Gestione dei percorsi paralleli, delle scelte esclusive e dei loop di rilavorazione 20
1.6.6 Confronto sintetico tra gli algoritmi 21
1.7 Conformance Checking 22
1.7.1 Definizione e finalità: confronto tra comportamento "as-is" e modello "to-be" 22
1.7.2 Token-based replay vs alignment-based replay 23
1.7.3 Tecniche di allineamento 23
1.7.4 Metriche di conformità 24
1.7.5 Livelli di verifica della conformità 25
1.7.6 Visualizzazione grafica delle deviazioni 26
1.8 Process Enhancement (Potenziamento e Performance Mining) 26
1.8.1 Definizione e distinzione da Discovery e Conformance Checking 26
1.8.2 Repair: correzione e miglioramento di modelli esistenti 27
1.8.3 Extension: arricchimento del modello con nuove prospettive 27
1.8.4 Simulazione e analisi "what-if" 28
1.8.5 Predictive Process Monitoring (cenni) 29
1.8.6 Verso l'AI-Augmented BPM: integrazione di tecniche di intelligenza artificiale nel ciclo di enhancement 29
1.9 Benefici e casi d'uso aziendali 30
1.9.1 Trasparenza e oggettivazione dei processi reali 30
1.9.2 Efficienza e produttività: colli di bottiglia, ritardi e attività ridondanti 31
1.9.3 Qualità e Customer Experience 31
1.9.4 Governance, rischio e conformità (GRC) 31
1.9.5 Agilità aziendale: validazione data-driven del cambiamento 32
1.9.6 Sintesi del valore strategico per il management 32
1.10 Sfide attuali e direzioni di ricerca 33
1.10.1 Scalabilità su event log di grandi dimensioni (big data) 33
1.10.2 Qualità e affidabilità dei dati (rumore, incompletezza, privacy by design) 33
1.10.3 Concept drift: processi che cambiano nel tempo 33
1.10.4 Object-Centric Process Mining: superamento del vincolo del singolo Case ID 34
1.10.5 Explainable AI (XAI) e interpretabilità dei modelli complessi 34

1.10.6 Integrazione con RPA, IoT e sistemi multi-agente 35
1.10.7 Aspetti etici, privacy e conformità normativa (es. GDPR) nell'analisi dei dati di processo 35

Capitolo 2 ..... *37*

2.1 Il contesto di analisi: la gestione della morosità nel settore utility **37**

2.2 Il ciclo di gestione del credito nell'energia e gas **37**
2.2.1 Il credit management come processo end-to-end 37
2.2.2 Le fasi del processo: dalla fatturazione al recupero del credito 38
2.2.3 Variabilità del processo e idoneità al Process Mining 39

2.3 Il quadro normativo a tutela del cliente **40**
2.3.1 La regolazione ARERA della morosità: TIMOE e TIMG 40
2.3.2 Bonus sociale e clienti non disalimentabili 41
2.3.3 Le regole di conformità: dal quadro normativo ai controlli sul log 41

2.4 L'ecosistema aziendale: sistemi informatici, Back Office, Credit Management e Distributori **43**
2.4.1 L'infrastruttura informativa e l'automazione dei processi 43
2.4.2 Le unità organizzative interne: Back Office, Call Center, Credit Management, Ufficio Reclami e Legale 44
2.4.3 Il distributore come attore esterno e il Sistema Informativo Integrato 45

Capitolo 3 ..... *47*

3.1 Metodologia e preparazione del dato **47**

3.2 Presentazione della piattaforma Apromore **47**
3.2.1 Origini accademiche e architettura della piattaforma 47
3.2.2 Il modulo di Process Discovery: l'algoritmo Split Miner 47
3.2.3 Il modulo di dashboard statistica 48

3.3 Estrazione e struttura del file "event_log_morosita_utility.csv" **48**
3.3.1 Origine e formato del file 48
3.3.2 Le 19 colonne del log: attributi di processo e attributi di contesto 49
3.3.3 Mappatura degli attributi minimi di Apromore 50

3.4 Qualità del dato, statistiche descrittive e gestione del troncamento a destra **51**
3.4.1 Il log grezzo: dimensione e copertura temporale 51
3.4.2 Il sotto-log analizzato in Apromore: statistiche di sintesi 51
3.4.3 Identificazione dei casi troncati dalla finestra di osservazione 52
3.4.4 Scelte di trattamento del dato e implicazioni per i capitoli successivi 54

Capitolo 4 ..... *55*

4.1 Process Discovery: ricostruzione del processo effettivo e confronto con il modello atteso **55**

4.2 Discovery del processo tramite Apromore Discoverer **55**

4.2.1 Taratura dei parametri dell'algoritmo Split Miner (Epsilon e Noise Threshold) 55
4.2.2 Generazione dei modelli BPMN a differenti livelli di astrazione e motivazione della soglia ottimale 56
4.3 Analisi quantitativa delle varianti di processo 59
4.3.1 Mappatura e quantificazione numerica dei percorsi principali (top varianti) 59
4.3.2 Analisi della coda lunga delle varianti episodiche e rilavorazioni 61
4.4 Valutazione formale del modello scoperto 61
4.4.1 Misurazione della Fitness (copertura comportamento osservato) 61
4.4.2 Misurazione della Precision (assenza di over-generalizzazione) 62
4.5 Confronto strutturale tra processo osservato (As-is) e processo atteso 63
4.5.1 Mappatura delle deviazioni rispetto alle procedure aziendali e alle direttive operative 63
4.5.2 Identificazione di attività informali, scorciatoie (workarounds) e loop non previsti 63
4.6 Discussione: il compromesso tra leggibilità e fedeltà del modello nel Process Mining 64
***Capitolo 5* 66**
5.1 Analisi delle prestazioni e mappa dei colli di bottiglia 66
5.2 Analisi del tempo di attraversamento complessivo (Throughput Time) 66
5.2.1 Segmentazione dei tempi per esito finale della pratica 66
5.2.2 Segmentazione per segmento di clientela (Domestico, Micro-business, Business) e fascia d'importo 67
5.3 Disaccoppiamento tra Tempo di Attesa (Waiting Time) e Tempo di Lavorazione (Processing Time) 68
5.3.1 Misurazione dei tempi effettivi sulle transizioni critiche 68
5.3.2 Impatto dei job notturni aziendali sui tempi di attesa 69
5.3.3 Analisi della serie storica mensile: la crisi di capacità di fine 2024 70
5.4 Analisi organizzativa e delle risorse 71
5.4.1 Carichi di lavoro per risorsa e per unità organizzativa (Role View) 71
5.4.2 Matrice di passaggio del lavoro (Handover of Work) e pattern di rilavorazione 72
5.5 Analisi comparativa delle prestazioni dei Distributori Locali 72
5.5.1 Benchmark dei tempi di risposta dei 5 distributori del dataset 72
5.5.2 Isolamento e quantificazione della quota di ritardo esogena non imputabile al venditore 73
5.6 Sintesi della mappa dei colli di bottiglia e quantificazione degli impatti operativi 74

Capitolo 6 ..... *76*

6.1 Conformance Checking del rischio regolatorio **76**

6.2 Definizione e modellazione BPMN del processo normativo To-Be **76**

6.2.1 Formalizzazione delle regole derivate dalla regolazione ARERA (TIMOE, TIMG, TIBEG) 76

6.3 Log Replay sul modello normativo e catalogazione delle violazioni **77**

6.3.1 Analisi delle violazioni sequenziali, temporali e di tutela (Regole V1, V2, V3, V4, V6, V7) 77

6.3.2 Frequenza e distribuzione delle non conformità nel log 78

6.4 Profilazione avanzata dei casi non conformi **79**

6.4.1 Profilazione per segmento di clientela, area geografica e periodo temporale 79

6.4.2 Profilazione per unità organizzativa e risorsa esecutrice 80

6.5 Validazione dei risultati con il Ground Truth aziendale **81**

6.5.1 Confronto quantitativo tra violazioni rilevate e ground truth aziendale 81

6.5.2 Valutazione della precisione ed accuratezza dell'algoritmo di Conformance Checking 81

6.6 Catalogo delle non conformità e stima del rischio regolatorio e reputazionale . **82**

Capitolo 7 ..... *84*

7.1 Analisi del Concept Drift e valutazione del progetto di digitalizzazione **84**

7.2 Identificazione del punto di cambio (Change Point) sul log di eventi **84**

7.2.1 Analisi delle serie temporali di frequenze, attività e durate 84

7.2.2 Localizzazione del drift in corrispondenza dell'avvio della digitalizzazione (1° Aprile 2025) 85

7.3 Discovery comparativa separata sulle due finestre temporali **86**

7.3.1 Modellazione del processo ante-digitalizzazione (08/01/2024-31/03/2025) 86

7.3.2 Modellazione del processo post-digitalizzazione (01/04/2025 – 30/06/2026) 86

7.3.3 Confronto strutturale dei due modelli (nuovi canali, rateizzazione self-service) 87

7.4 Analisi differenziale delle prestazioni e del tasso di non conformità **87**

7.4.1 Confronto dei tempi di attraversamento ante e post-intervento 87

7.4.2 Variazione del tasso di violazione delle regole di conformità (V1-V7) 88

7.5 Disaccoppiamento metodologico tra Concept Drift e Congestione **89**

7.5.1 Distinzione tra modifica strutturale dei percorsi (drift) ed effetto della congestione sulle attese 89

7.6 Valutazione ex-post basata sui dati dell'intervento di reingegnerizzazione **90**

Capitolo 8 ..... *92*

8.1 Valutazione economica del processo e proposte di intervento **92**

8.2 Analisi dei costi di gestione delle pratiche (Cost Trajectories) **92**

8.2.1 Calcolo del costo totale per pratica in base all'attributo costo_attivita lungo i diversi percorsi 92

8.3 Analisi costo-efficacia del recupero crediti **93**

8.3.1 Confronto puntuale tra costo di gestione della pratica ed effettivo importo incassato per esito 93

8.4 Mappatura e identificazione dei percorsi antieconomici **95**

8.4.1 Individuazione dei percorsi in cui i costi operativi/legali superano il valore del credito insoluto 95

8.5 Proposte operative di reingegnerizzazione e raccomandazioni gestionali **95**

8.5.1 Interventi di ottimizzazione sui colli di bottiglia e sulle rilavorazioni 95

8.5.2 Misure di mitigazione del rischio regolatorio per le violazioni ad alto impatto (es. V6) 96

8.5.3 Stima quantitativa dei benefici attesi (ROI, riduzione tempi di incasso ed efficientamento dei costi) 96

8.5.4 Scenario di processo To-Be e stima del risparmio complessivo atteso 97

Conclusioni *101*

Sintesi del lavoro svolto e suo significato **101**

Limitazioni dei risultati presentati **102**

Analisi comparativa dei risultati **102**

Indicazioni delle possibili applicazioni **103**

Sviluppi futuri: dal Process Mining alla Process Intelligence **103**

Bibliografia *105*

Sommario

Le utility di energia elettrica e gas gestiscono ogni anno decine di migliaia di pratiche di morosità, un processo scandito da vincoli normativi stringenti – la regolazione ARERA – e da una variabilità operativa che le rappresentazioni procedurali tradizionali faticano a catturare. Questa tesi applica le tecniche del Process Mining – discovery, conformance checking, analisi delle prestazioni – a un log di 5.315 pratiche di morosità di un venditore di energia, per ricostruire il processo realmente eseguito, confrontarlo con quello atteso dalla normativa e dalle procedure aziendali, e quantificarne il costo di gestione.

L'analisi, condotta con la piattaforma Apromore e validata attraverso la ricostruzione analitica indipendente del log grezzo, mostra che il processo osservato si discosta in modo sostanziale dal modello lineare atteso: oltre 1.500 varianti di percorso, un tasso di non conformità del 9,5 per cento alle regole di tutela del cliente – concentrato su una singola causa temporale piuttosto che diffuso – e un costo di gestione fortemente crescente lungo le fasi avanzate del recupero. Un'analisi di concept drift isola inoltre l'effetto di un progetto aziendale di digitalizzazione avviato a metà del periodo osservato, distinguendolo analiticamente da un concomitante effetto di congestione del sistema, entrambi altrimenti confondibili.

Il contributo originale della tesi consiste nella costruzione di un'intera pipeline di analisi – dalla preparazione del dato alla valutazione economica – interamente tracciabile e validata attraverso il confronto sistematico con le esportazioni della piattaforma e con un ground truth aziendale, e nella traduzione dei risultati in proposte operative quantificate di reingegnerizzazione del processo, con una stima dei benefici economici e di rischio regolatorio attesi

Introduzione

La natura del problema

La gestione della morosità è, per qualunque impresa che eroghi un servizio in abbonamento o a consumo, un processo strutturalmente in tensione fra due esigenze opposte: da un lato la necessità di recuperare il credito nel modo più rapido ed economico possibile, dall'altro il rispetto di un impianto normativo – nel settore dell'energia, la regolazione ARERA discussa nel capitolo 2 – che impone tempi minimi, verifiche obbligatorie e tutele rafforzate a beneficio del cliente finale, in particolare delle categorie più vulnerabili.

Questa tensione si traduce, nella pratica operativa quotidiana, in un processo che nessun diagramma di flusso disegnato a tavolino riesce a rappresentare fedelmente: un processo in cui la sequenza delle attività realmente eseguite dipende da un numero elevato di fattori contingenti – l'esito di un sollecito, l'apertura di un reclamo, la disponibilità del cliente a

un piano di rientro, il tempo di risposta di un distributore locale esterno all'azienda – che si combinano in centinaia di percorsi diversi.

Comprendere quale di questi percorsi sia effettivamente seguito, con quale frequenza, a quale costo e con quale grado di aderenza alle regole, è una domanda a cui la sola documentazione procedurale aziendale non può rispondere: è precisamente il tipo di domanda a cui il Process Mining – la disciplina che ricostruisce il comportamento reale di un processo a partire dalle tracce digitali che esso lascia nei sistemi informativi – è stato sviluppato per rispondere.

I contributi reperibili in letteratura

Il capitolo 1 di questa tesi ricostruisce in modo sistematico l'evoluzione della disciplina, dalle sue origini nell'incontro fra workflow management e data mining fino alle più recenti direzioni di ricerca. Il riferimento metodologico principale è il testo di Van der Aalst (2016), che sistematizza le quattro prospettive di analisi (controllo di flusso, organizzativa, dei dati e dei casi, temporale) e le tre famiglie di tecniche – discovery, conformance checking, enhancement – impiegate lungo l'intera tesi.

Sul versante della process discovery, l'algoritmo Split Miner di Augusto, Conforti, Dumas, La Rosa e Maggi (2018), implementato nella piattaforma Apromore descritta da La Rosa et al. (2011) e impiegata per la parte sperimentale, costituisce il riferimento diretto per il capitolo 4. Le metriche di conformance checking – fitness e precision – adottate nei capitoli 4 e 6 seguono l'impostazione originaria di Rozinat e van der Aalst (2008), che per prima ha formalizzato il confronto quantitativo fra comportamento osservato e modello normativo.

Il capitolo 7, dedicato al concept drift, si appoggia al lavoro di Bose, van der Aalst, Zliobaite e Pechenizkiy (2014), che ha per primo caratterizzato sistematicamente il problema dei processi che mutano nel tempo all'interno della disciplina del Process Mining. La cornice di gestione dei processi aziendali entro cui l'intera analisi si colloca fa infine riferimento al testo di Dumas, La Rosa, Mendling e Reijers (2018), che inquadra il Process Mining come una delle fasi del ciclo di vita del Business Process Management piuttosto che come una disciplina isolata. A questi riferimenti metodologici si affianca, per la parte relativa al contesto applicativo, la regolazione tecnica dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (TIMOE, TIMG, TIBEG), discussa nel dettaglio nel capitolo 2.

Scopo del lavoro

Lo scopo di questa tesi è duplice. Prima di tutto, un obiettivo metodologico: dimostrare come un'intera pipeline di Process Mining – dalla preparazione del dato alla valutazione economica finale – possa essere applicata a un processo regolato di credit management, integrando gli strumenti di una piattaforma commerciale (Apromore) con una ricostruzione analitica indipendente condotta direttamente sui dati grezzi, così da garantire la piena tracciabilità di ogni risultato presentato. In seguito, un obiettivo applicativo: fornire, sul caso di studio specifico della gestione della morosità in un

venditore di energia elettrica e gas, un quadro quantitativo completo del comportamento del processo, della sua conformità normativa, delle sue prestazioni e del suo costo, tale da poter orientare interventi di reingegnerizzazione fondati sull'evidenza piuttosto che sulla sola conoscenza tacita degli operatori.

Metodo di soluzione del problema

Il metodo adottato segue il percorso classico della disciplina, articolato nel piano delle analisi predisposto a corredo del log di eventi: preparazione e verifica di qualità del dato; discovery del processo effettivo e sua valutazione formale; analisi delle prestazioni e identificazione dei colli di bottiglia; conformance checking rispetto a un insieme di regole derivate dalla regolazione ARERA; analisi del concept drift indotto da un intervento aziendale di digitalizzazione; valutazione economica conclusiva.

Ciascuna fase è stata condotta con un approccio a doppio binario: da un lato l'impiego degli strumenti offerti dalla piattaforma Apromore Discoverer – discovery, filtri, dashboard statistiche, conformance checking – dall'altro la ricostruzione diretta e indipendente delle medesime grandezze a partire dai timestamp di inizio e fine di ciascuna istanza di attività nel file event_log_morosita_utility.csv, secondo procedure di calcolo documentate e riproducibili.

Questo secondo binario, oltre a fungere da verifica incrociata dei risultati ottenuti in piattaforma – verifica che si è rivelata puntualmente positiva su decine di transizioni controllate – ha permesso di condurre analisi non direttamente disponibili nell'interfaccia dello strumento, quali la scomposizione del tempo di attesa per singola transizione, la separazione fra effetto di drift strutturale ed effetto di congestione, e la valutazione economica per percorso.

Struttura della tesi

La tesi si articola in otto capitoli. Il capitolo 1 presenta l'impianto teorico e metodologico del Process Mining, dalle origini della disciplina alle sue direzioni di ricerca più recenti, costituendo il riferimento concettuale per tutta la parte applicativa successiva.

Il capitolo 2 introduce il contesto di analisi – il ciclo di gestione del credito nell'energia e gas, il quadro normativo ARERA a tutela del cliente e l'ecosistema aziendale coinvolto – premessa indispensabile per interpretare correttamente i risultati dei capitoli successivi.

Il capitolo 3 descrive la piattaforma Apromore, la struttura del file di log analizzato e le scelte metodologiche di preparazione del dato, incluso il trattamento dei casi troncati dalla finestra di osservazione.

Il capitolo 4 conduce la process discovery vera e propria, ricostruendo il modello di processo effettivo, valutandone formalmente fitness e precision, e confrontandolo con il processo atteso dalle procedure aziendali.

Il capitolo 5 analizza le prestazioni del processo – tempi di attraversamento, disaccoppiamento fra attesa e lavorazione, carichi organizzativi, benchmark dei distributori esterni – costruendo una mappa quantitativa dei colli di bottiglia.

Il capitolo 6 esegue il conformance checking rispetto alle regole derivate dalla regolazione ARERA, ne profila la distribuzione e ne valida i risultati contro un ground truth aziendale.

Il capitolo 7 identifica e analizza il concept drift associato a un progetto di digitalizzazione avviato durante il periodo osservato, distinguendone l'effetto da quello, concettualmente diverso, della congestione del sistema.

Il capitolo 8, infine, integra i risultati precedenti in una valutazione economica del processo e in un insieme di proposte operative di reingegnerizzazione, corredate da una stima quantitativa dei benefici attesi.

Le conclusioni riprendono e discutono criticamente l'insieme dei risultati, alla luce dei limiti dello studio e delle sue possibili applicazioni.

Capitolo 1

1.1 Process Mining: introduzione e contesto

Il presente capitolo introduce i fondamenti teorici del Process Mining, delineandone la collocazione epistemologica, il vocabolario di base e gli strumenti concettuali necessari per comprendere le fasi analitiche successive. Prima di affrontare la definizione tecnica della disciplina e la struttura dell'event log, è opportuno chiarire da quale esigenza essa sia nata e in quale contesto storico-organizzativo si sia sviluppata.

1.1.1 Dalla gestione dei processi aziendali (BPM) al Process Mining

Il Process Mining si colloca in una posizione di frontiera tra due discipline che, per lungo tempo, si sono sviluppate secondo logiche distinte: il Business Process Management (BPM) e il Data Mining. Da un lato, il BPM affronta la progettazione, l'esecuzione, il controllo e l'ottimizzazione dei processi aziendali facendo leva su modelli espliciti – reti di Petri, diagrammi BPMN o altre notazioni formali – costruiti tipicamente attraverso interviste agli stakeholder, workshop di modellazione o l'analisi documentale delle procedure operative. Questo approccio, per quanto rigoroso dal punto di vista metodologico, presenta un limite strutturale: il modello risultate riflette la percezione che i responsabili del processo hanno del proprio lavoro, non necessariamente il suo effettivo svolgimento. Dall'altro, il Data Mining fornisce un ampio ventaglio di tecniche statistiche e algoritmiche per estrarre pattern, regole e strutture ricorrenti da grandi insiemi di dati tabellari, senza tuttavia possedere una nozione nativa di processo, ovvero della sequenzialità causale che lega le attività nel tempo.

Il Process Mining nasce proprio per colmare questo divario, integrando la componente processuale tipica del BPM con la capacità analitica orientata ai dati propria del Data Mining e, più in generale, delle discipline riconducibili alla data science. La sua specificità consiste nel porre a confronto sistematico i dati di un evento – ovvero le tracce lasciate dall'esecuzione reale dei processi nei sistemi informativi aziendali – con modelli di processo, siano essi ricostruiti automaticamente a partire dai dati stessi oppure predefiniti dall'organizzazione.

Questa collocazione ibrida giustifica la definizione, ormai consolidata in letteratura, del Process Mining come disciplina appartenente a un più ampio dominio che può essere definito "Process science": un'area che integra la conoscenza propria dell'information Technology con quella delle scienze gestionali, finalizzata al miglioramento e alla gestione operativa dei processi. Rispetto agli approcci BPM tradizionali, che pongono l'enfasi primaria sulla modellazione, il Process Mining sposta il baricentro sull'analisi dei dati di evento; rispetto al Data Mining generico, introduce invece una struttura processuale che rende l'analisi immediatamente interpretabile in chiave organizzativa.

1.1.2 Il ruolo dei dati nell'era della trasformazione digitale

L'affermazione del Process Mining come disciplina autonoma è strettamente legata alla progressiva digitalizzazione dei processi aziendali. La diffusione capillare di sistemi

informativi transazionali, quali ERP, CRM, sistemi di gestione documentale, piattaforme IoT, ha comportato un incremento esponenziale della quantità di tracce digitali generate da ogni singola istanza di processo, dalla creazione di un ordine di vendita fino alla sua evasione e fatturazione. Questa disponibilità di dati granulari e time-stamped rappresenta la precondizione tecnica senza la quale il Process Mining non potrebbe esistere: è solo grazie alla registrazione sistematica di ogni transazione operata dai sistemi informativi che diventa possibile ricostruire, con un livello di dettaglio prima inaccessibile, il comportamento effettivo di un processo, comprese le sue eccezioni, i suoi loop di rilavorazione e le sue varianti nascoste.

In questo senso, la trasformazione digitale non va intesa solo come adozione di nuove tecnologie, ma come mutamento della natura stessa dell'evidenza disponibile per l'analisi organizzativa: da un'evidenza dichiarativa e soggettiva, fondata sulla testimonianza di chi opera il processo, a un'evidenza osservativa e oggettiva, fondata sulla registrazione automatica degli eventi. È in questo passaggio che risiede il valore distintivo del Process Mining rispetto agli strumenti di analisi organizzativa precedenti, e la ragione per cui la sua adozione è cresciuta parallelamente alla maturità digitale delle organizzazioni.

1.1.3 Obiettivi e struttura del capitolo

Alla luce di quanto premesso, il presente capitolo si pone un duplice obiettivo: da un lato, riscostruire l'evoluzione storica e concettuale del Process Mining, collocandolo rispetto alle discipline affini da cui trae origine; dall'altro, fornire l'apparato teorico-metodologico – definizioni, standard di rappresentazione dei dati, algoritmi di riferimento - necessario a comprendere le tre modalità operative fondamentali della disciplina: Process Discovery, Conformance Checking e Process Enhancement. Il capitolo si chiude con una rassegna dei benefici aziendali documentati in letteratura e con una discussione delle sfide attuali e delle direzioni di ricerca emergenti, a fondamento della parte metodologica e sperimentale sviluppata nei capitoli successivi.

1.2 Evoluzione storica della disciplina

Comprendere il Process Mining richiede la ricostruzione del percorso attraverso cui esso si è progressivamente affiancato da discipline più antiche – la ricerca sui sistemi a stati finiti, la teoria della concorrenza, il workflow management e il data mining – fino a costruirsi come campo di ricerca autonomo, dotato di un proprio vocabolario, di propri standard e di una propria comunità scientifica di riferimento.

1.2.1 Le origini: workflow management e data mining (anni '90)

Sebbene il Process Mining, nella sua accezione contemporanea, sia una disciplina relativamente recente, le sue radici concettuali risalgono a lavori più risalenti nel campo dell'informatica teorica: già nel 1958 Anil Nerode (Nerode, 1958) aveva proposto un metodo per sintetizzare automi a stati finiti a partire da tracce di esempio, mentre Carl Adam Petri, nel 1962, (Petri, 1962) introduceva il primo linguaggio di modellazione capace di rappresentare adeguatamente la concorrenza tra processi – le reti che porteranno il suo nome (Van der Aalst 2016).

È tuttavia negli anni Novanta che si consuma il passaggio decisivo: da un lato il workflow management si afferma come disciplina applicativa orientata alla configurazione e all'esecuzione di sistemi informativi model-driven, capaci cioè di guidare l'operatività aziendale sulla base di un modello di processo esplicito; dall'altro il Data Mining conosce una fase di rapida espansione, sviluppando tecniche sofisticate per l'estrazione di pattern da grandi insiemi di dati tabellari. Le due tradizioni si sviluppano tuttavia in modo sostanzialmente disgiunto: come osservato dallo stesso van der Aalst (2016), il data mining di quegli anni presta scarsa attenzione alla dimensione processuale dei dati analizzati, mentre il workflow management, concentrato sulla modellazione formale, non dispone ancora degli strumenti per confrontare sistematicamente i propri modelli con l'evidenza empirica generata dai sistemi informativi.

1.2.2 Il contributo di Wil van der Aalst e la nascita del termine "Process Mining" (primi anni 2000)

La sintesi tra queste due tradizioni nasce da un progetto di ricerca concreto: nel 1999 Wil van der Aalst e Ton Weijters avviano, presso la Technische Universiteit Eindhoven, il progetto "Process Design by Discovery: Harvesting Workflow Knowledge from Ad-hoc Executions", combinando le competenze di van der Aalst nel campo del workflow management e delle reti di Petri con quelle di Weijters nel machine learning (van der Aalst & Weijtersd, 1999). Il campo di ricerca che ne deriva viene inizialmente denominato "workflow mining", per poi essere ridefinito come "Process Mining" nel corso del decennio successivo. Il primo survey sistematico sulla disciplina viene pubblicato nel 2003, mentre l'anno seguente van der Aalst, Weijters e Maruster pubblicano il lavoro che introduce formalmente l'Alpha Miner, dimostrando per la prima volta come sia possibile derivare matematicamente una rete di Petri a partire da un log di eventi (van der Aalst, Weijters e Maruster, 2004). Questo contributo segna, di fatto, l'atto fondativo del Process Discovery come sotto disciplina autonoma e apre la strada, nel decennio successivo, allo sviluppo di un ecosistema accademico strutturato attorno al gruppo di ricerca di Eindhoven, che nel tempo si estende a numerosi altri atenei europei e internazionali.

1.2.3 La IEEE Task Force on Process Mining e la standardizzazione (XES, dal 2009)

La maturazione della disciplina rende necessaria, nel corso degli anni Duemila, la definizione di principi condivisi e di formati di rappresentazione dei dati comuni ai diversi gruppi di ricerca. A questo scopo viene costituita la IEEE Task Force on Process Mining, che nel 2011 pubblica il Process Mining Manifesto: un documento ratificato a livello internazionale che fissa le definizioni terminologiche di riferimento, enuncia una serie di principi guida per l'applicazione responsabile e metodologicamente corretta della disciplina, e individua le sfide di ricerca aperte (van der Aalst et al.,2011). Parallelamente, la comunità scientifica adotta come formato standard per la rappresentazione degli event log l'eXtensible Event Stream (XES), successore del precedente formato MXML, che a partire dal 2009 consente l'interscambio di log di eventi tra strumenti software differenti secondo uno schema comune, comprensivo di attributi obbligatori – quali Case ID,

Activity e Timestamp – ed estrazioni opzionali per la rappresentazione di risorse, costi e altre dimensioni del processo. Questo percorso metodologico si è concluso e formalizzato nel 2016, anno in cui XES è stato ratificato come standard ingegneristico globale con la nomenclatura ufficiale di IEEE 1849-2016.

1.2.4 La diffusione commerciale: dai tool accademici (ProM) alle piattaforme enterprise (Celonis, Disco, UiPath Process Mining, SAP Signavio)

Il primo strumento software a raccogliere in modo organico le tecniche sviluppate dal gruppo di Eindhoven è ProM, una piattaforma open source che diventa, nel corso degli anni Duemila, il principale punto di riferimento per ricercatori, studenti e practitioner, e che continua a rappresentare un ambiente privilegiato per lo sviluppo e la sperimentazione di nuovi algoritmi (van der Aalst 2016). L'interesse del mondo industriale per la disciplina emerge in modo più deciso a partire dai primi anni Duemiladieci: il caso di Siemens, che secondo quanto riportato in Reinkemeyer (2020) adotta il Process Mining già a partire dal 2011 come tecnologia per la gestione della complessità dei propri processi, è generalmente considerato uno dei casi pionieristici di adozione enterprise su larga scala.

Da qui prende avvio una fase di rapida commercializzazione: se le prime applicazioni aziendali si concentrano tipicamente su progetti isolati, di ambito circoscritto e finalità perlopiù legate all'audit, l'affermarsi del valore della disciplina ne determina una progressiva estensione a funzioni aziendali eterogenee – procurement, vendite, finanza, logistica – e a settori industriali diversificati (Reinkemeyer, a cura di, 2020). A questa evoluzione corrisponde la nascita e la maturazione di un ricco mercato proprietario che, affianco a player leader come Celonis, Disco e UiPath, ha visto una recente e significativa fase di consolidamento guidata dalle Big Tech: pionieri della disciplina come Minit e myInvenio sono stati acquisiti rispettivamente da Microsoft e IBM, mentre SAP ha integrato Signavio nella propria suite enterprise.

Tale tendenza conferma come il Process Mining si sia ormai affermato come componente nativa e imprescindibile dell'architettura digitale d'impresa.

1.2.5 Tendenze recenti: integrazione con Robotic Process Automation (RPA), Machine Learning e Generative AI

Nell'ultimo decennio il perimetro della disciplina si è ulteriormente ampliato, superando la funzione originaria di scoperta e verifica dei modelli di processo per integrarsi con tecnologie complementari orientate all'automazione e alla previsione.

L'integrazione con la Robotic Process Automation consente di trasformare le inefficienze individuate attraverso l'analisi dei log in interventi automatizzati concreti, chiudendo il ciclo tra diagnosi e azione correttiva.

Contestualmente, l'adozione di tecniche di machine learning ha dato impulso al filone del Predictive Process Monitoring, orientato a prevedere l'esito, la durata residua o il rischio di non conformità di un'istanza di processo ancora in corso (Teinemaa, Dumas, La Rosa

e Maggi, 2019). Più di recente, l'avvento dell'intelligenza artificiale generativa e dei Large Language Models (LLM) ha inaugurato il paradigma del Conversational Process Mining (Vidgof et al., 2023).

Questa nuova frontiera consente agli analisti e ai decision-maker di interrogare gli event log direttamente in linguaggio naturale, automatizzando l'estrazione degli insight, la generazione di report predittivi e la configurazione dei workflow di analisi, collocandosi all'interno del più ampio paradigma dell'AI-Augmented BPM (§ 1.8.6).

1.3 Il Process Mining nel panorama del Business Process Management

Definita la traiettoria storica della disciplina, è ora necessario collocare con maggiore precisione il Process Mining all'interno del più ampio campo del BPM, di cui condivide l'oggetto di studio – il processo aziendale – ma non sempre il metodo. Questo paragrafo approfondisce tale collocazione sotto tre profili complementari: il confronto tra l'approccio model-driven tipico del BPM tradizionale e l'approccio data-driven proprio del Process Mining; la distinzione rispetto a discipline affini con cui la letteratura tende talvolta a generare sovrapposizioni terminologiche; e l'individuazione dei punti specifici del ciclo di vita BPM in cui il Process Mining interviene.

1.3.1 Confronto tra approccio BPM tradizionale (model-driven) e approccio data-driven

Il Business Process Management, nella sua accezione più consolidata, riunisce l'insieme degli approcci finalizzati alla progettazione, all'esecuzione, al controllo, alla misurazione e all'ottimizzazione dei processi aziendali (van der Aalst 2016). Gran parte delle metodologie riconducibili a questa tradizione – dalla modellazione BPMN alla configurazione dei sistemi di Workflow Management – condivide un tratto metodologico distintivo: l'enfasi posta sui modelli di processo espliciti, costruiti a piori e assunti come rappresentazione di riferimento del funzionamento organizzativo (Dumas, La Rosa, Mendling e Reijers, 2018).

In questi contesti il modello non è soltanto uno strumento descrittivo, ma spesso anche prescrittivo e, nel caso di sistemi di Workflow Management, direttamente esecutivo: modificare il processo equivale, in larga misura, a modificare il modello che lo governa. Tale impostazione, comunemente definita model-driven, presenta un vantaggio evidente in termini di controllo e standardizzazione, ma sconta un limite strutturale già richiamato nel paragrafo 1.1.1: il modello riflesse la progettazione intenzionale del processo, non necessariamente il suo svolgimento effettivo, e tende a perdere aggiornamento nel tempo quanto più il processo reale si discosta, per adattamenti informali o eccezioni ricorrenti, dalla sua rappresentazione formale.

Il Process Mining capovolge questa logica adottando un approccio data-driven: il punto di partenza non è il modello, bensì l'event log, ovvero la registrazione sistematica di ciò che effettivamente è accaduto durante l'esecuzione del processo. Il modello, quando

presente, non è più l'origine dell'analisi ma il suo possibile esito – nel caso della Process Discovery – oppure un termine di paragone rispetto a cui misurare eventuali scostamenti – nel caso del Conformance Checking. Questo capovolgimento non implica l'abbandono della modellazione, quanto piuttosto una sua ridefinizione: il modello cessa di essere un artefatto autoreferenziale e diventa un'ipotesi verificabile empiricamente, sottoposta a un confronto costante con l'evidenza fattuale prodotta dai sistemi informativi.

1.3.2 Posizionamento rispetto a discipline affini: Business Intelligence, Data Mining, Task Mining

La collocazione del Process Mining richiede di distinguerlo, oltre che dal BPM tradizionale, anche da un insieme di discipline con cui condivide strumenti, dati o finalità, ma rispetto alle quali mantiene una specificità irriducibile.

Rispetto alla Business Intelligence, orientata prevalentemente alla produzione di dashboard, indicatori aggregati e strumenti di reportistica, il Process Mining si differenzia per la capacità di restituire non soltanto misure di performance, ma la struttura stessa del processo sottostante, comprensiva delle sue varianti, dei suoi percorsi paralleli e delle sue deviazioni: dove la Business Intelligence tende a rispondere alla domanda "che cosa è accaduto", il Process Mining consente di ricostruire anche "in quale sequenza e attraverso quali percorsi" ciò sia accaduto (van der Aalst, 2016).

Rispetto al Data Mining, la differenza principale risiede nella dimensione processuale: il Data Mining opera tipicamente su dati strutturati in forma tabellare, privi di un ordinamento causale esplicito tra le osservazioni, mentre il Process Mining assume come unità di analisi la traccia — la sequenza ordinata nel tempo delle attività appartenenti a una medesima istanza di processo — rendendo la dimensione temporale e sequenziale un elemento costitutivo, e non accessorio, dell'analisi.

Una distinzione ulteriore, di formazione più recente, riguarda il Task Mining, che condivide con il Process Mining l'obiettivo di ricostruire il comportamento operativo effettivo, ma opera a un livello di granularità e con fonti dati differenti (Leno et al., 2021). Mentre il Process Mining lavora su dati estratti dai database di back-end (System of Record, come ERP o CRM) a livello di transazione di processo, il Task Mining acquisisce dati a livello di interfaccia utente (UI log / User Interface log) tramite agenti desktop installati sulle postazioni degli operatori. Registrando click, digitazioni e passaggi tra applicativi, il Task Mining offre una prospettiva complementare, più granulare ma circoscritta alle singole attività manuali del posto di lavoro, e viene sempre più spesso integrato con il Process Mining all'interno delle piattaforme enterprise di più recente generazione.

1.3.3 Il ciclo di vita BPM e i punti di intervento del Process Mining

Un ulteriore criterio per collocare il Process Mining all'interno del BPM consiste nel considerare il ciclo di vita che quest'ultimo tradizionalmente propone per la gestione dei processi aziendali, articolato nelle fasi di identificazione del processo, scoperta (discovery) del processo as-is, analisi, ridisegno (redesign), implementazione e, infine,

monitoraggio e controllo (Dumas, La Rosa, Mendling e Reijers, 2018). Si tratta di un ciclo concepito, nella sua formulazione originaria, come sostanzialmente iterativo ma ancora fortemente dipendente da attività manuali di rilevazione e modellazione, in particolare nelle fasi discoperta e analisi.

Il Process Mining interviene proprio in corrispondenza di questi passaggi, offrendo strumenti che ne automatizzano e ne oggettivano l'esecuzione: nella fase di discovery, sostituendo o integrando la modellazione manuale con la ricostruzione automatica del processo a partire dall'event log (cfr. §1.6); nella fase di analisi, fornendo strumenti di Conformance Checking e di individuazione dei colli di bottiglia che rendono evidenti le cause delle inefficienze rilevate (cfr. §§1.7-1.8); e, soprattutto, nella fase di monitoraggio e controllo, dove consente un'osservazione continuativa e in prossimità del tempo reale dell'andamento del processo, superando la natura tipicamente puntuale e retrospettiva delle rilevazioni tradizionali.

Questa capacità di presidiare in modo trasversale più fasi del ciclo di vita BPM, anziché limitarsi a una di esse, costituisce una delle ragioni per cui il Process Mining viene sempre più spesso descritto non come uno strumento isolato, ma come un'infrastruttura analitica trasversale a supporto dell'intero governo dei processi aziendali.

1.4 L'Event Log: struttura e requisiti

Se il paragrafo precedente ha chiarito la collocazione teorica del Process Mining rispetto al BPM e alle discipline affini, questo paragrafo ne affronta il fondamento empirico: l'event log, ovvero l'oggetto dati da cui ogni analisi di Process Mining necessariamente muove. La qualità, la struttura e la completezza dell'event log condizionano infatti in modo diretto l'affidabilità di qualunque risultato ottenuto nelle fasi successive di Discovery, Conformance Checking ed Enhancement, ragione per cui la letteratura dedica a questo tema un'attenzione metodologica specifica (van der Aalst 2016).

1.4.1 Definizione di Event Log e di traccia (trace/case)

Un event log può essere definito come l'insieme strutturato degli eventi registrati dai sistemi informativi di un'organizzazione in relazione all'esecuzione di un determinato processo, dove ciascun evento rappresenta l'occorrenza di una specifica attività in un preciso istante temporale (van der Aalst, 2016). Gli eventi appartenenti a un medesimo processo vengono raggruppati sulla base dell'istanza di processo cui si riferiscono — ad esempio un singolo ordine di vendita, una singola pratica assicurativa, un singolo paziente — dando origine a una traccia, o case: la sequenza ordinata cronologicamente degli eventi relativi a quella specifica istanza.

Un event log può quindi essere concettualizzato come un multi-insieme di tracce, ciascuna delle quali rappresenta il percorso concretamente seguito da una singola istanza di processo attraverso le attività disponibili. È importante osservare che questa struttura non è un'assunzione arbitraria, ma riflette una condizione imprescindibile per l'applicabilità delle tecniche di Process Mining: senza la possibilità di raggruppare gli eventi in tracce distinte e ordinabili nel tempo, nessuna delle tre modalità operative

descritte nel paragrafo 1.1 (Discovery, Conformance Checking, Enhancement) risulterebbe eseguibile.

1.4.2 Attributi minimi obbligatori

Affinché un insieme di dati grezzi possa essere trattato come un event log analizzabile, la letteratura individua un nucleo di attributi minimi che ogni evento deve necessariamente possedere (van der Aalst, 2016).

1.4.2.1 Case ID

Il Case ID è l'identificatore univoco dell'istanza di processo cui l'evento appartiene. È l'attributo che consente l'operazione di correlazione (event correlation), ossia il raggruppamento degli eventi dispersi in una o più tabelle in tracce distinte e coerenti. In assenza di un Case ID affidabile, o in presenza di un Case ID errato o duplicato, diventa impossibile ricostruire correttamente il comportamento di una singola istanza di processo, compromettendo l'intera analisi a valle.

1.4.2.2 Activity

L'Activity indica il nome del compito o dell'azione svolta al momento della registrazione dell'evento. Si tratta dell'attributo che conferisce significato processuale al dato, distinguendo un evento generico da un passo identificabile all'interno del flusso di lavoro. La coerenza terminologica delle etichette di attività – cioè l'uso sistematico dello stesso nome per la stessa azione – costituisce un requisito di qualità particolarmente delicato, poiché variazioni non intenzionali nella denominazione possono generare, agli occhi degli algoritmi di analisi, attività apparentemente distinte laddove nella realtà organizzativa si tratta della medesima azione.

1.4.2.3 Timestamp

Il Timestamp registra la data e l'ora in cui l'attività ha avuto luogo, fornendo l'informazione necessaria a stabilire l'ordinamento cronologico degli eventi all'interno di ciascuna traccia. Sebbene in linea di principio l'ordinamento degli eventi non richieda necessariamente un timestamp esplicito, nella pratica esso diventa indispensabile ogniqualvolta i dati provengano dall'integrazione di più fonti eterogenee, ciascuna delle quali può presentare una propria granularità temporale o persino un proprio orologio di sistema (van der Aalst, 2016). La precisione del timestamp — se espresso in giorni, minuti o secondi — incide direttamente sull'affidabilità della sequenza ricostruita: molti sistemi informativi, specie in ambito sanitario o amministrativo, registrano soltanto la data e non l'orario esatto, rendendo di fatto impossibile stabilire un ordine totale tra eventi occorsi nello stesso giorno.

1.4.3 Attributi opzionali ed estensioni (risorsa, costo, ruolo, dati di contesto)

Oltre al nucleo minimo obbligatorio, un evento può recare ulteriori attributi opzionali che arricchiscono le prospettive di analisi disponibili (cfr. § 1.5). Tra i più ricorrenti figurano la risorsa, ossia la persona o il sistema che ha eseguito l'attività, il costo associato alla sua esecuzione, il ruolo organizzativo del soggetto coinvolto e, più in generale, qualunque dato di contesto rilevante per il caso (ad esempio l'importo di un ordine o la categoria di

un cliente). È opportuno precisare che non tutti gli eventi di un log devono necessariamente condividere lo stesso insieme di attributi opzionali: tipicamente, tuttavia, gli eventi riconducibili alla medesima attività tendono a presentare un insieme di attributi omogeneo, il che consente di trattarli in modo sistematico nelle fasi successive di analisi (van der Aalst, 2016).

1.4.4 Standard di rappresentazione: MXML e XES (eXtensible Event Stream)

La necessità di uno scambio affidabile di event log tra strumenti software differenti ha reso necessaria, nel corso dello sviluppo della disciplina, la definizione di formati standard. Fino al 2010 lo standard de facto era rappresentato dal formato MXML (Mining eXtensible Markup Language), introdotto nel 2003 e successivamente adottato dallo strumento open source ProM; la sua natura basata su XML consentiva di rappresentare timestamp, risorse e tipologie di transazione secondo una notazione condivisa, ma le numerose estensioni ad hoc sviluppate nel tempo — necessarie per incorporare informazioni semantiche aggiuntive — ne rivelarono progressivamente i limiti strutturali (van der Aalst, 2016). Da questa esperienza nasce XES (eXtensible Event Stream), concepito come successore di MXML e progettato per essere realmente estendibile attraverso un meccanismo nativo di estensioni.

Nel settembre 2010 il formato XES viene adottato dalla IEEE Task Force on Process Mining, diventando il formato di interscambio di riferimento per l'intera comunità di ricerca, fino ad essere formalmente ratificato nel 2016 come standard ufficiale globale con la nomenclatura IEEE 1849-2016.

1.4.5 Qualità del dato: completezza, correttezza, granularità e problematiche di event log imperfetti (rumore, dati mancanti, eventi duplicati)

La disponibilità di event log di qualità elevata costituisce una condizione imprescindibile per la validità di qualunque analisi di Process Mining (van der Aalst, 2016). La letteratura identifica una serie di problematiche ricorrenti, classificabili sia a livello di entità (case, activity instance, evento) sia a livello di singolo attributo.

A livello di entità si distinguono tipicamente tre categorie di problemi: l'entità mancante nel log, quando un evento realmente accaduto non è stato registrato dal sistema informativo; l'entità mancante nella realtà, quando un evento risulta registrato pur non essendo mai avvenuto concretamente; e l'entità occultata nel log, quando l'evento è presente ma risulta difficilmente individuabile all'interno di un insieme di dati più ampio e meno strutturato, ad esempio a causa di duplicazioni o di un ambito di estrazione (scope) eccessivamente esteso.

A livello di singolo attributo, i problemi più ricorrenti riguardano invece l'attributo mancante — tipicamente un timestamp non registrato —, l'attributo errato, ove il valore registrato non corrisponde a quello reale, e l'attributo impreciso, quando il dato

disponibile presenta una granularità inferiore a quella richiesta dall'analisi (ad esempio una data senza l'orario esatto).

Accanto a queste problematiche, ulteriori sfide riguardano la già menzionata correlazione degli eventi, la delimitazione (scoping) dell'ambito dei dati da includere nell'analisi — questione tutt'altro che banale in presenza di sistemi ERP che possono contare migliaia di tabelle — e la granularità delle attività registrate, spesso eccessivamente dettagliata rispetto al livello di astrazione utile agli stakeholder, il che rende talvolta necessarie tecniche di aggregazione degli eventi di basso livello in attività di significato organizzativo più immediato.

1.4.6 Fasi di estrazione e pre-processing (ETL, event correlation, abstraction)

La costruzione di un event log analizzabile a partire dai dati grezzi disponibili nei sistemi informativi aziendali richiede un processo di preparazione articolato in più fasi, riconducibile concettualmente a un flusso di tipo ETL (Extract, Transform, Load), sebbene declinato secondo le esigenze specifiche del Process Mining (van der Aalst, 2016).

Tale processo comprende, in primo luogo, la selezione degli eventi effettivamente rilevanti per il processo oggetto di analisi, spesso dispersi su più tabelle di uno o più sistemi transazionali; in secondo luogo, l'attività di correlazione degli eventi, finalizzata a ricondurli alle rispettive istanze di processo tramite il Case ID; in terzo luogo, l'ordinamento cronologico degli eventi all'interno di ciascuna traccia sulla base del timestamp o di un ordinamento esplicito alternativo; infine, la selezione o il calcolo degli attributi di evento rilevanti — risorsa, costo e altre dimensioni di contesto — a partire dai dati grezzi disponibili.

A supporto di questo processo, la letteratura ha elaborato un insieme di linee guida per la registrazione degli eventi (dodici linee guida, indicate come GL1-GL12), che raccomandano, tra l'altro, l'adozione di una semantica chiara e condivisa per i nomi di riferimento e di attributo, la gestione strutturata e gerarchica delle denominazioni, la stabilità nel tempo degli identificativi utilizzati e la massima precisione possibile nei valori registrati, con esplicita indicazione dei casi in cui tale precisione non sia raggiungibile (van der Aalst, 2016). Il rispetto di queste linee guida, pur collocandosi a monte del vero e proprio processo di Process Mining, condiziona in modo determinante la qualità — e dunque l'affidabilità — dei risultati ottenibili nelle fasi di Discovery, Conformance Checking ed Enhancement discusse nei paragrafi successivi.

1.5 Le quattro prospettive fondamentali del Process Mining

I paragrafi precedenti hanno chiarito che l'evento è l'unità elementare di analisi del Process Mining e che l'event log ne costituisce il contenitore strutturato (cfr. § 1.4). Tuttavia, la disciplina non si limita ad osservare la sequenza delle attività: ogni evento può recare informazioni ulteriori – chi lo ha eseguito, quando, in relazione a quale istanza di processo – che aprono altrettante angolazioni di analisi.

van der Aalst (2016) definisce queste angolazioni come prospettive, sottolineando come esse siano parzialmente sovrapposte e non esaustive, ma comunque sufficienti a caratterizzare in modo compiuto gli aspetti che il Process Mining si propone di indagare. E' importante precisare, a differenza di quanto talvolta sintetizzato in modo divulgato, che la letteratura accademica di riferimento individua quattro prospettive fondamentali: control-flow, organizzativa, dei casi e temporale. Le quattro prospettive vengono qui trattate distintamente proprio per restituire fedelmente questa articolazione.

1.5.1 Prospettiva di controllo di flusso (control flow)

La prospettiva di controllo di flusso si concentra sull'ordinamento delle attività, ossia sulla sequenza secondo cui i passi di un processo si susseguono all'interno di ciascuna traccia (van der Aalst, 2016). L'obiettivo dell'analisi condotta secondo questa prospettiva è prevenire a una caratterizzazione accurata di tutti i possibili percorsi che un'istanza di processo può seguire, tipicamente espressa attraverso una rete di Petri o una notazione equivalente – EPC, BPMN, UML, Activity Diagram.

Si tratta della prospettiva storicamente più sviluppata e concettualmente più centrale nella disciplina, poiché è quella su cui si fondano la maggior parte degli algoritmi di Process Discovery (cfr. § 1.6) e delle tecniche di Conformance Checking di base (cfr. § 1.7): un modello di processo che rappresenti esclusivamente il control-flow, per quanto limitato rispetto alla complessità reale dell'organizzazione, costituisce comunque il nucleo minimo attorno a cui le altre prospettive vengono progressivamente innestate.

1.5.2 Prospettiva organizzativa (risorse e ruoli)

La prospettiva organizzativa si concentra sulle informazioni relative alle risorse nascoste nell'event log, ossia sull'identificazione degli attori — persone, sistemi, ruoli, unità organizzative — coinvolti nell'esecuzione delle attività e sulle relazioni che li legano (van der Aalst, 2016).

L'obiettivo di questa prospettiva è duplice: da un lato strutturare l'organizzazione classificando le risorse in termini di ruoli e unità organizzative — ad esempio individuando che una determinata attività è svolta esclusivamente da soggetti riconducibili a un "ruolo manageriale" —; dall'altro ricostruire la rete sociale (social network) che lega gli attori coinvolti nel processo, tipicamente sulla base della metrica del cosiddetto "handover of work", che misura la frequenza con cui un'attività svolta da un individuo è causalmente seguita da un'attività svolta da un altro individuo.

L'analisi organizzativa consente inoltre di individuare, incrociandola con la prospettiva del control-flow, fenomeni rilevanti dal punto di vista gestionale e di conformità — ad esempio la circostanza per cui un determinato collaboratore risulti sistematicamente coinvolto in un numero di pratiche gestite in modo non conforme superiore alla media, oppure la verifica del principio della separazione dei compiti (cfr. § 1.7.6.3).

1.5.3 Prospettiva dei dati e dei casi

La prospettiva del caso si concentra sulle proprietà che caratterizzano ciascuna istanza di processo, andando oltre il semplice percorso seguito o le risorse coinvolte, per considerare i valori degli elementi di dato associati al caso stesso (van der Aalst, 2016): se, ad esempio, un caso rappresenta un ordine di riapprovvigionamento, può risultare rilevante conoscere il fornitore coinvolto o la quantità di prodotti ordinati.

Questa prospettiva assume particolare importanza nell'ambito della cosiddetta "decision point analysis", nota formalmente in letteratura come Decision Mining (Rozinat & van der Aalst, 2006). Attraverso l'uso di algoritmi di apprendimento automatico (come gli alberi decisionali), il Decision Mining utilizza le informazioni contestuali di ciascun caso per spiegare perché, in corrispondenza di un determinato punto di scelta nel control-flow, alcune istanze abbiano seguito un percorso anziché un altro: van der Aalst (2016) riporta, a titolo esemplificativo, come l'analisi dei dati di caso possa rivelare che le richieste di rimborso di importo superiore ad una determinata soglia tendano sistematicamente a essere respinte.

In questo caso la prospettiva dei dati costituisce il ponte più diretto tra il Process Mining e le tecniche di Data Mining classiche descritte nel paragrafo 1.3.2, applicate non più a un insieme di osservazioni indipendenti, ma a un insieme di casi correlati a uno specifico percorso processuale.

1.5.4 Prospettiva temporale (tempi ed SLA)

La prospettiva temporale riguarda la tempistica e la frequenza con cui gli eventi di verificano. Quando gli eventi recano un timestamp attendibile, diventa possibile individuare colli di bottiglia, misurare il rispetto dei livelli di servizio concordati (SLA, Service Level Agreement), monitorare il grado di utilizzo delle risorse e prevedere il tempo di completamento residuo delle istanze di processo ancora in corso (van der Aalst, 2016). È attraverso questa prospettiva che il Process Mining supera la dimensione puramente diagnostica: la misurazione del tempo trascorso tra due attività consecutive – ad esempio tra l'esame di una pratica e la relativa decisione – consente di individuare in modo oggettivo dove il processo rallenta e, incrociando tale informazione con le altre prospettive, di formulare ipotesi motivate sulle relative cause.

Questa prospettiva costituisce inoltre il fondamento metodologico principale del Process Enhancement descritto nel paragrafo 1.8, dove l'arricchimento del modello con informazioni temporali rappresenta una della applicazioni più immediate e diffuse nella pratica aziendale.

1.6 Process Discovery

Il paragrafo precedente ha illustrato le div erse prospettive attraverso cui un event log può essere analizzato; il presente paragrafo si concentra sulla prima e più risalente delle tre modalità operative del Process Mining introdotte nel capitolo 1.1: la Process Discovery, ovvero la ricostruzione automatica di un modello di processo a partire esclusivamente dai dati registrati, senza alcuna conoscenza a priori del modello stesso (van der Aalst, 2016).

1.6.1 Definizione, obiettivi e input/output del processo di scoperta

Formalmente, un algoritmo di Process Discovery può essere definito come una funzione γ che associa a un event log L un modello di processo – tipicamente una rete di Petri contrassegnata – tale che, idealmente, il modello risultante sia una WF-net (workflow net) sound e ciascuna traccia presente nel log corrisponda a una possibile sequenza di scatti (firing sequence) ammessa dal modello (van der Aalst, 2016).

Questa definizione, per quanto formulata in termini di reti di Petri, ha valore concettuale generale: l'obiettivo della Discovery non è riprodurre esattamente il log fornito in input, quanto piuttosto individuare una rappresentazione compatta e generalizzabile del comportamento che il log testimonia, capace di render conto tanto delle sequenze effettivamente osservate quanto – entro certi limiti – di comportamenti plausibili non ancora registrati.

1.6.2 Requisiti di un algoritmo di discovery: fitness, precision, generalization, simplicity (il "quadrilatero della qualità")

La valutazione di un modello scoperto automaticamente richiede il bilanciamento di quattro criteri di qualità, spesso in reciproco conflitto (van der Aalst, 2016).

La fitness misura la capacità del modello di riprodurre il comportamento osservato nel log: un modello con fitness elevata è in grado di rigiocare (replay) la maggior parte delle tracce registrate.

La precision, concettualmente affine alla nozione di underfitting mutuata dal data mining, valuta se il modello ammetta anche comportamenti sostanzialmente estranei a quanto osservato nel log: un modello poco preciso è eccessivamente permissivo.

La generalization, speculare alla precision e riconducibile alla nozione di overfitting, misura invece la capacità del modello di andare oltre i singoli esempi osservati, evitando di risultare eccessivamente specifico.

Infine, la simplicity richiama il principio del rasoio di Occam, secondo cui non si dovrebbero moltiplicare gli elementi esplicativi oltre il necessario: a parità di fitness, precision e generalization, il modello più semplice è da preferirsi.

Van der Aalst (2016) sottolinea come questi quattro criteri siano difficili da bilanciare simultaneamente — un modello eccessivamente semplificato tende infatti a peggiorare fitness o precision — e come proprio questo trade-off costituisca il problema metodologico centrale attorno a cui si sono sviluppati i diversi algoritmi di discovery discussi nel paragrafo 1.6.4

1.6.3 Rappresentazioni target dei modelli scoperti

La scelta del formalismo di rappresentazione condiziona sia la classe di comportamenti esprimibili dal modello scoperto (il cosiddetto representational bias, ovvero il limite intrinseco imposto dalla notazione target al tipo di strutture logiche che l'algoritmo è in grado di rappresentare) sia la sua leggibilità per gli stakeholder aziendali.

1.6.3.1 Petri net e Workflow net

Le reti di Petri, e in particolare la loro sottoclasse delle workflow net, costituiscono il formalismo di riferimento nella letteratura accademica sulla Discovery, per la loro capacità di rappresentare in modo compatto e con semantica non ambigua la concorrenza, la scelta e l'iterazione tra attività (van der Aalst, 2016). Una WF-net è caratterizzata da un unico luogo sorgente (che modella la creazione dell'istanza di processo) e da un unico luogo pozzo (che ne modella il completamento), e la sua correttezza formale è verificabile attraverso la proprietà di soundness che garantisce l'assenza di deadlock, livelock e altre anomalie strutturali.

1.6.3.2 Process Tree

Il Process Tree è una struttura ad albero i cui nodi interni rappresentano operatori di composizione – sequenza, scelta esclusiva, parallelismo, ciclo di ripetizione – e le cui foglie rappresentano le singole attività del processo. Il vantaggio distintivo di questa rappresentazione, rispetto alle reti di Petri, è la correttezza per costruzione: un process tree è sound by construction, ossia non può in linea di principio generare modelli affetti da deadlock o livelock, una garanzia che ha reso questa struttura il formalismo target dell'Inductive Miner (cfr. § 1.6.4.4).

1.6.3.3 BPMN (Business Process Model Notation)

Il BPMN, già introdotto nel paragrafo 1.3.1 come standard di modellazione tipico del BPM tradizionale, viene comunemente utilizzato anche come formato di output della Discovery, poiché la maggior parte delle tecniche di scoperta è di fatto indipendente dalla notazione di rappresentazione finale: un modello scoperto in forma di rete di Petri può essere trasformato – mantenendo l'equivalenza comportamentale – in un modello BPMN equivalente, più familiare agli utenti aziendali non specialisti (van der Aalst, 2016).

1.6.3.4 Directly-Follows Graph (DFG) e mappe di processo

Il Directly-Follow Graph è una rappresentazione più semplice, priva della semantica formale delle reti di Petri, che si limita a collegare due attività con un arco quando la seconda segue direttamente la prima in almeno una traccia del log (van der Aalst, 2016). Pur non distinguendo esplicitamente concorrenza e scelta – un limite significativo rispetto ai formalismi precedenti – il DFG costituisce la struttura dati di partenza per numerosi algoritmi (tra cui l'Inductive Miner) e, soprattutto, il formato tipicamente restituito dagli strumenti commerciali sotto forma di mappa di processo, per la sua immediatezza visiva e la sua adattabilità a meccanismi di filtro interattivo della frequenza degli eventi.

1.6.4 Algoritmi principali di discovery

1.6.4.1 Alpha Miner (algoritmo di base e relazioni di ordinamento causale)

L'α-algoritmo, proposto da van der Aalst, Weijters e Maruster (2004) e descritto sistematicamente in van der Aalst (2016), rappresenta il primo algoritmo di Process Discovery in grado di gestire adeguatamente la concorrenza tra attività. Il suo funzionamento si basa sull'estrazione, dal log, di quattro relazioni di ordinamento tra coppie di attività: la relazione di "direttamente-segue" (a >L b, quando b segue

direttamente in almeno una traccia), la relazione "causale" (a →L b, quando a >L b ma non vale il contrario, indicando una dipendenza diretta), la relazione di "parallelismo" (a ‖L b, quando entrambe le direzioni sono osservate) e la relazione di "assenza di relazione diretta" (a #L b). Questo insieme di relazioni, organizzabile in una matrice detta footprint, consente di riconoscere pattern strutturali ricorrenti — sequenza, scelta esclusiva (XOR-split/join), parallelismo (AND-split/join) — e di derivarne automaticamente i corrispondenti luoghi e transizioni della rete di Petri risultante.

1.6.4.2 Limiti dell'Alpha Miner (loop corti, costrutti non liberi, rumore)

Nonostante il suo valore fondativo, l'Alpha Miner presenta limiti significativi, dipendenti in larga misura dal representational bias assunto in fase di progettazione (van der Aalst, 2016). L'algoritmo assume infatti che ogni transizione rechi un'etichetta univoca e visibile, il che rende impossibile la corretta gestione di attività duplicate (la medesima attività eseguita in punti diversi del processo) e di azioni silenti (passaggi non registrati nel log ma necessari alla corretta struttura del modello).

L'algoritmo incontra inoltre difficoltà sistematiche con i cosiddetti costrutti non a scelta libera (non-free-choice), in cui concorrenza e scelta si intrecciano, e con i cicli corti — in particolare i cicli di lunghezza uno e due — che generano relazioni ambigue nella matrice footprint. Un ulteriore limite riguarda l'assunzione di completezza: l'algoritmo presuppone che la relazione "direttamente-segue" osservata nel log sia esaustiva, un'ipotesi tanto più irrealistica quanto più il log è affetto da rumore, con la conseguenza di produrre modelli sovradattati (overfitting) o sottospecificati (underfitting) a seconda della forza di tale assunzione di completezza.

1.6.4.3 Heuristics Miner (gestione del rumore tramite soglie di frequenza)

L'Heuristics Miner supera il principale limite pratico dell'Alpha Miner — la sua fragilità in presenza di rumore — sostituendo le relazioni booleane della matrice footprint con misure di dipendenza basate sulla frequenza relativa delle osservazioni (van der Aalst, 2016). Anziché dedurre una dipendenza causale dalla semplice presenza o assenza di un pattern nel log, l'algoritmo calcola per ogni coppia di attività un valore di dipendenza continuo, e introduce una relazione soltanto quando tale valore supera una soglia configurabile: in questo modo, comportamenti infrequenti e riconducibili a rumore possono essere esclusi dal modello risultante.

Il modello prodotto è tipicamente una rete causale (C-net), una rappresentazione che, diversamente dalla rete di Petri classica, associa a ciascuna attività funzioni di input e output esplicite, rendendo la gestione delle condizioni di split e join più flessibile.

1.6.4.4 Inductive Miner (garanzia di soundness e gestione della ricorsione)

L'Inductive Miner adotta una strategia divide-et-impera, scomponendo ricorsivamente l'event log in sotto-log sempre più piccoli fino a ricondurli a singole attività (van der Aalst, 2016). A ogni passo, l'algoritmo individua nel grafo delle relazioni "direttamente-segue" un cosiddetto taglio (cut) — di sequenza, di scelta esclusiva, di parallelismo o di ciclo — corrispondente a uno dei quattro operatori del process tree, e utilizza tale taglio per suddividere il log in sotto-log più piccoli, ripetendo il procedimento fino a

esaurimento. Il vantaggio distintivo di questo approccio (Leemans et al., 2013), rispetto all'Alpha Miner, risiede nella garanzia strutturale di soundness offerta dai process tree (cfr. § 1.6.3.2): qualunque sia il log analizzato, il modello risultante è per costruzione privo di deadlock e livelock, un risultato che ha reso l'Inductive Miner — nelle sue numerose varianti evolute in grado di gestire comportamento infrequente e rumore — uno degli algoritmi più diffusi nell'implementazione degli strumenti sia accademici sia commerciali.

1.6.4.5 Fuzzy Miner (semplificazione e astrazione per processi poco strutturati/spaghetti)

Il Fuzzy Miner (Günther & van der Aalst, 2007) nasce per rispondere a un'esigenza diversa da quella degli algoritmi precedenti: non tanto la correttezza formale del modello, quanto la sua leggibilità in presenza di processi altamente variabili e poco strutturati — i cosiddetti "processi spaghetti" — per i quali un modello che rappresenti fedelmente ogni comportamento osservato risulterebbe illeggibile. Ispirandosi alla metafora cartografica, van der Aalst (2016) descrive il funzionamento del Fuzzy Miner in termini di una funzionalità di zoom analoga a quella di una mappa geografica: attraverso soglie configurabili di frequenza e significatività, le attività meno rilevanti vengono aggregate in nodi cluster anziché essere semplicemente rimosse, consentendo all'utente di navigare tra diversi livelli di dettaglio — dalla mappa più analitica, che mostra tutte le attività, a mappe progressivamente più sintetiche, che ne mostrano solo le più significative.

1.6.4.6 Split Miner (ottimizzazione simplicity/precision per contesti industriali)

Il Split Miner, proposto da Augusto, Conforti, Dumas, La Rosa e Polyvyanyy (Augusto el al.,2019) in un filone di ricerca successivo a quello documentato nei materiali accademici di riferimento di questa tesi, è stato sviluppato specificamente per rispondere alle esigenze di scalabilità e leggibilità emerse nell'applicazione industriale del Process Mining su event log di grandi dimensioni ed elevata variabilità. L'algoritmo opera prendendo in input il Directly-Follows Graph estratto dal log e applicando una procedura di filtraggio e di identificazione dei costrutti di split e join che trasforma il grafo in un modello BPMN (o in una Rete di Petri equivalente). Privilegiando un compromesso ottimale tra precision e simplicity, lo Split Miner genera modelli compatti, leggibili e privi di blocchi strutturali anche a fronte di dati reali fortemente rumorosi — una caratteristica che ne ha favorito l'ampia adozione sia nella ricerca sia nelle piattaforme enterprise di ultima generazione.

1.6.5 Gestione dei percorsi paralleli, delle scelte esclusive e dei loop di rilavorazione

Al di là delle specificità dei singoli algoritmi, la capacità di rappresentare correttamente tre costrutti ricorrenti nei processi reali costituisce un banco di prova trasversale per qualunque tecnica di Discovery (van der Aalst, 2016). I percorsi paralleli, in cui due o più attività possono essere eseguite in un ordine qualsiasi o simultaneamente, richiedono che

l'algoritmo distingua correttamente la concorrenza dalla scelta esclusiva — un compito reso possibile, nel caso dell'Alpha Miner, dalla relazione di parallelismo della matrice footprint. Le scelte esclusive, in cui solo uno tra due o più percorsi alternativi viene effettivamente seguito, richiedono l'individuazione di corretti pattern di XOR-split e XOR-join.

I loop di rilavorazione, infine — situazioni in cui una o più attività vengono ripetute più volte all'interno della medesima istanza di processo, tipicamente in corrispondenza di eccezioni o correzioni — rappresentano il costrutto più problematico per gli algoritmi di prima generazione: i cicli di lunghezza uno o due, in particolare, generano ambiguità nelle relazioni di ordinamento causale che l'Alpha Miner non è in grado di risolvere correttamente, ragione per cui la corretta gestione della ricorsione costituisce uno dei principali criteri di confronto tra algoritmi discussi nel paragrafo seguente.

1.6.6 Confronto sintetico tra gli algoritmi

Algoritmo	Rappresentazione target	Gestione del rumore	Garanzia di soundness	Punti di forza	Limiti principali
Alpha Miner	Rete di Petri (WF-net)	Assente/limitata	Non garantita	Semplicità concettuale, valore fondativo	Fragile con rumore, loop corti, costrutti non liberi
Heuristics Miner	Rete causale (C-net)	Soglie di frequenza	Non garantita	Robustezza al rumore	Modello meno formale, richiede tuning delle soglie
Inductive Miner	Process Tree	Varianti robuste al rumore	Garantita per costruzione	Correttezza formale, gestione dei loop annidati	Può produrre modelli meno leggibili su log molto variabili

Fuzzy Miner	Mappa di processo aggregata	Aggregazione/filtro configurabile	Non applicabile (non formale)	Leggibilità su processi "spaghetti"	Perdita di precisione semantica, forte dipendenza dai parametri
Split Miner	Modello BPMN/Rete di Petri	Filtro esplicito su DFG	Alta (euristica avanzata di strutturazione)	Ottimo bilanciamento tra precision e simplicity su dati complessi	Euristica di stutturazione complessa rispetto ad approcci classici

Tabella 1.6.6 – Confronto tra algoritmi

1.7 Conformance Checking

Se la Process Discovery affrontata nel paragrafo 1.6 presuppone l'assenza di un modello di riferimento, il Conformance Checking si colloca nella situazione complementare: sia il modello di processo, sia l'event log corrispondente sono disponibili, e l'obiettivo dell'analisi diventa confrontarli sistematicamente per individuare punti di convergenza e divergenza (van der Aalst, 2016).

1.7.1 Definizione e finalità: confronto tra comportamento "as-is" e modello "to-be"

Il Conference Checking mette in relazione gli eventi registrati nel log con le attività previste dal modello di processo, quest'ultimo potendo essere stato costruito manualmente oppure scoperto automaticamente attraverso le tecniche del paragrafo 1.6, e potendo assumere natura descrittiva oppure normativa (van der Aalst, 2016). Questa distinzione è cruciale per l'interpretazione dei risultati: se il modello è descrittivo, gli scostamenti rilevati segnalano che il modello necessita di essere affinato per meglio rappresentare la realtà, se il modello è normativo, gli scostamenti possono invece essere letti in due modi alternativi.

Da un lato, essi possono rivelare deviazioni indesiderate, indicando la necessità di un controllo più stringente del processo; dall'altro, possono rivelare deviazioni desiderabili, dovute all'iniziativa degli operatori nel gestire eccezioni non previste dal modello per servire meglio il cliente o fronteggiare circostanze impreviste – un fenomeno che van der Aalst (2016) esemplifica richiamando la pratica, diffusa in alcuni ospedali, di "rompere il vetro" (breaking the glass) per riferirsi a deviazioni procedurali che, pur non conformi, salvano vite umane.

Questa duplice possibile lettura implica che il Conference Checking non debba essere inteso come mero strumento di controllo repressivo, ma come strumento diagnostico che richiede sempre un'interpretazione contestuale da parte degli stakeholder.

1.7.2 Token-based replay vs alignment-based replay

Il token-based replay costituisce la prima tecnica sistematica per quantificare la fitness proposta in letteratura: consiste nel far "rigiocare" (replay) ciascuna traccia del log sulla rete di Petri corrispondente al modello, contando quattro grandezze – i token prodotti (p), i token consumati (c), i token mancanti (m, quando una transizione dovrebbe scattare ma il luogo di input è vuoto) e i token rimanenti (r, quando al termine del replay permangono token nella rete che non dovrebbero esserci) (van der Aalst, 2016). A partire da questi quattro valori, la misura di fitness aggregata sull'intero log riprodotto sul modello viene formalizzata matematicamente da van der Aalst (2016) attraverso l'equazione:

$$fitness(L, M) = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{m}{c}\right) + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{r}{p}\right)$$

Fig. 1.7.2

Questo approccio presenta il vantaggio di essere concettualmente semplice ed efficiente dal punto di vista computazionale, e consente di ripartire il log in casi che si adattano perfettamente al modello e casi che non vi si adattano, questi ultimi ulteriormente analizzabili separatamente.

Tuttavia, van der Aalst (2016) ne segnala limiti significativi: in presenza di log fortemente problematici, la rete tende a essere "inondata di token", finendo per ammettere quasi ogni comportamento e restituendo cosi valori di fitness artificiosamente elevati; inoltre, l'approccio è specifico per le reti di Petri e, soprattutto, non produce un percorso esplicito attraverso il modello per le tracce non perfettamente aderenti, rendendo difficile fornire diagnosi puntuali o utilizzare i risultati per analisi successive (ad esempio il calcolo dei tempi medi di attesa tra due attività). Le tecniche di allineamento descritte nel paragrafo 1.7.2 sono state introdotte proprio per superare questi limiti, offrendo – a fronte di un costo computazionale generalmente più elevato – diagnosi più affidabili e direttamente utilizzabili anche per i casi non perfettamente conformi.

1.7.3 Tecniche di allineamento

Le tecniche di allineamento (Adriansyah et al., 2011) nascono per superare i limiti del token-based replay descritto nel paragrafo 1.7.4, offrendo una corrispondenza esplicita, traccia per traccia, tra la sequenza effettivamente osservata nel log e il percorso più plausibile all'interno del modello (van der Aalst 2016). Concretamente, un allineamento mette in corrispondenza, riga per riga, la traccia osservata e una sequenza di scatti ammessa dal modello, segnalando con un simbolo convenzionale (>>) i punti di disallineamento: una "mossa di modello" indica un passo previsto dal modello ma non

osservato nel log, mentre una “mossa di log” indica un evento osservato ma non previsto dal modello in quel punto della sequenza e infine la “mossa sincrona” per cui l’attività registrata nel log corrisponde perfettamente all’attività eseguita nel modello in quella fase del processo.

Tra molteplici allineamenti possibili per una data traccia, si definisce ottimale quello che minimizza una funzione di costo associata alle mosse di disallineamento.

Esempio pratico di allineamento:

\begin{array}{c\|c\|c\|c\|c} \text {Log} & A & B & \gg & D \\ \hline \text{Modello} & A & \gg & C & D \end{array}

In questo esempio, l’attività B costituisce una mossa di log (log move, ovvero un evento osservato nella realtà ma non previsto dal modello), l’attività C costituisce una mossa di modello (model move, ovvero un passaggio prescritto dal modello ma omesso nella traccia reale), mentre le attività A e D rappresentano mosse sincrone (synchronous moves, in cui comportamento osservato e comportamento modellato coincidono perfettamente).

Questo approccio consente diagnosi molto più granulari rispetto al semplice conteggio aggregato di fitness, poiché permette di ricondurre ogni singola deviazione a un punto preciso del modello, ed è inoltre configurabile attraverso funzioni di costo differenziate – ad esempio penalizzando maggiormente la mancata esecuzione di un’attività critica rispetto a una meramente accessoria.

1.7.4 Metriche di conformità

Le quattro dimensioni di qualità già introdotte a proposito della Process Discovery nel paragrafo 1.6.2 trovano applicazione diretta anche nel Conformance Checking, di cui costituiscono in larga misura il fondamento metrico (van der Aalst 2016).

1.7.4.1 Fitness (aderenza del log al modello)

La Fitness misura la proporzione di comportamento osservato nel log che risulta compatibile con quanto emesso dal modello, ed è, tra le quattro dimensioni, quella più direttamente riconducibile al Conformance Checking. Un valore di fitness pari, ad esempio, a 0,95 indica che il modello è in grado di riprodurre correttamente circa il 95% del comportamento registrato nel log, lasciando inspiegato il restante 5%.

1.7.4.2 Precision (aderenza del modello al log)

La precision misura, all’inverso, quanto il modello ammetta comportamenti sostanzialmente estranei a quelli osservati: un modello con bassa precision, pur presentando una fitness elevata, rischia di essere talmente permissivo da risultare poco informativo, in quanto ammette come “conforme” un ventaglio di comportamenti molto più ampio di quello realmente osservato.

1.7.4.3 Generalization e Simplicity

Generalization e Simplicity, pur meno direttamente legate alla verifica puntuale della conformità, restano rilevanti nel momenti in cui il Conformance Checking viene utilizzato – come illustrato nel paragrafo 1.7.6.2 – per valutare comparativamente la qualità di più modelli candidati, o per orientare il processo di riparazione (repair) del modello discusso nel paragrafo 1.8 dedicato al process Enhancement.

1.7.4.4 Analisi delle varianti di processo (variant analysis)

L'analisi delle varianti costituisce un complemento essenziale al Conformance Checking basato su un modello: anziché confrontare il log con un modello di riferimento esplicito, essa raggruppa le tracce del log in base alla sequenza esatta di attività seguita, individuando le varianti più frequenti – i percorsi "standard" del processo – e quelle meno frequenti, spesso associate a eccezioni, rilavorazioni o comportamenti anomali.

Questo tipo di analisi, particolarmente valorizzato nella pratica aziendale documentata nei materiali di settore (cfr. Lecture Tartu, Anastasiia Glebova,2024), consente di individuare rapidamente su quali varianti concentrare l'attenzione – ad esempio quelle correlate a esiti negativi, tempi di attraversamento anomali o violazioni delle regole di business – anche in assenza di un modello formale predefinito, e rappresenta spesso il primo strumento diagnostico applicato in un progetto di Process Mining prima di procedere ad un Conformance Checking più strutturato.

1.7.5 Livelli di verifica della conformità

Il Conformance Checking può essere condotto a diversi livelli di analisi, corrispondenti in larga misura alle prospettive introdotte nel paragrafo 1.5

1.7.5.1 Conformità del flusso delle attività

Il livello più immediato di verifica riguarda la conformità del control-flow, ossia la verifica che la sequenza delle attività effettivamente eseguite rispetti l'ordinamento previsto dal modello di riferimento: è il livello su cui operano direttamente i token-based replay e le tecniche di alienamento descritte nei paragrafi precedenti.

1.7.5.2 Conformità temporale (SLA e vincoli di durata)

Un secondo livello di verifica riguarda la dimensione temporale del processo (cfr. § 1.5.), e consiste nel confrontare i tempi effettivamente registrati tra le attività con i vincoli di durata attesi – i livelli di servizio concordati – segnalando i casi in cui tali vincoli non vengono rispettati. Questo livello di verifica, pur non sempre esplicitamente formalizzato negli algoritmi di Conformance Checking accademici, rappresenta uno degli use case aziendali più diffusi nella pratica, come confermato dai materiali di settore relativi ai processi Order-to-Cash e Procure-to-Pay (Gleboca,2024)

1.7.5.3 Conformità organizzativa (segregation of duties, principio del doppio controllo)

Un terzo livello riguarda la prospettiva organizzativa (cfr. § 1.5.2), e si concretizza tipicamente nella verifica di regole di separazione dei compiti (segregation of duties): van

der Aalst (2016) esemplifica questo livello di verifica richiamando il principio del "doppio controllo" (o "four-eyes principle"), secondo cui determinate attività critiche – ad esempio l'approvazione di ordini di importo superiore ad una determinata soglia – non devono essere eseguite dalla medesima persona che ha eseguito un'attività precedente del medesimo caso.

La scansione sistematica dell'event log alla luce di un modello che specifiche tale requisito c consente di individuare potenziali casi di frode o di violazione dei controlli interni, rendendo questo livello di verifica particolarmente rilevante nell'ambito della Governance, Risk & Compliance discussa nel paragrafo 1.9.4.

1.7.6 Visualizzazione grafica delle deviazioni

La restituzione dei risultati del Conformance Checking richiede strumenti di visualizzazione capaci di comunicare tanto misure di conformità globali – ad esempio la percentuale di casi perfettamente aderenti al modello – quanto diagnosi locali, che evidenziano direttamente sul modello di processo i punti specifici in cui si concentrano le deviazioni (van der Aalst, 2016). Tipicamente, tale visualizzazione avviene sovrapponendo al modello di processo – sia esso rappresentato come rete di Petri, BPMN o mappa di processo – indicatori grafici in corrispondenza delle attività o delle transizioni in cui si registrano scostamenti significativi, ad esempio segnalando la frequenza con cui una determinata attività è stata eseguita senza essere prevista dal modello in quel punto, o la frequenza con cui un'attività prevista non è stata eseguita affatto.

Questa forma di rappresentazione, che integra la misura aggregata di conformità con il dettaglio diagnostico puntuale, costituisce l'anello di congiunzione tra il Conformance Checking e le attività di riparazione e potenziamento del modello approfondite nel paragrafo 1.8.

1.8 Process Enhancement (Potenziamento e Performance Mining)

Discovery e Conformance Checking, discussi nei paragrafi 1.6 e 1.7, condividono un focus prevalente sulla prospettiva di controllo di flusso. Il Process Enhancement, terza modalità operativa del Process Mining introdotta nel paragrafo 1.1, sposta invece l'attenzione sulle altre prospettive identificate nel paragrafo 1.5 – organizzativa, dei casi, temporale – utilizzandole per arricchire, correggere o estendere un modello di processo esistente sulla base dell'evidenza empirica contenuta nell'event log (van der Aalst,2016).

1.8.1 Definizione e distinzione da Discovery e Conformance Checking

Van der Aalst (2016) definisce il Process Enhancement come l'insieme delle tecniche volte ad arricchire o migliorare un modello di processo esistente utilizzando le informazioni contenute in un event log a esso relativo. La distinzione rispetto alle altre due modalità operative è netta sul piano funzionale, pur condividendone in larga misura gli strumenti tecnici di base: mentre la Discovery genera un modello ex novo e il Conformance Checking si limita a confrontare modello e log senza modificare né uno né

l'altro, l'Enhancement presuppone l'esistenza di un modello di partenza – scoperto automaticamente o costruito manualmente – che viene attivamente trasformato, sia correggendone la struttura, sia arricchendolo con informazioni non originariamente presenti. Questa duplice possibilità dà luogo a due sotto-modalità distinte, che la letteratura individua nel repair e nell'extension.

1.8.2 Repair: correzione e miglioramento di modelli esistenti

Il repair interviene quando il confronto tra modello e log, condotto attraverso le tecniche di Conformance Checking (§ 1.7), rivela un disaccordo sistematico tra comportamento modellato e comportamento osservato, suggerendo che il modello – e non necessariamente il processo reale – debba essere corretto per meglio rappresentare la realtà (van der Aalst, 2016).

Le diagnosi prodotte dal token-based replay e dagli allineamenti, che documentano la frequenza delle attività e le rispettive dipendenze causali, possono essere utilizzazte per guidare in modo semi-automatico questa correzione: percorsi previsti dal modello ma mai (o raramente) osservati nel log possono essere rimossi, così come possono essere eliminate scelte o dipendenze causali che l'evidenza empirica non conferma. Il repair si configura dunque come un ponte diretto tra il Conformance Checking e la Process Discovery, poiché utilizza la logica diagnostica del primo per raffinare progressivamente l'accuratezza descrittiva della seconda.

1.8.3 Extension: arricchimento del modello con nuove prospettive

L'extension, complementare al repair, non corregge la struttura del control-flow ma la arricchisce proiettando sul modello informazioni aggiuntive relative alle altre prospettive discusse nel paragrafo 1.5, trasformando un modello puramente strutturale in una rappresentazione integrata, multi-prospettica, del processo (van der Aalst, 2016).

1.8.3.1 Analisi dei tempi di esecuzione e identificazione dei colli di bottiglia

L'estensione più diffusa nella pratica riguarda la proiezione della prospettiva temporale sul modello di processo, attraverso una tecnica che van der Aalst (2016) definisce timed replay: l'event log viene ri-eseguito (replay) sul modello esattamente come nel token-based replay descritto nel paragrafo 1.7.4, ma questa volta i token portano con sé informazioni temporali, consentendo di calcolare, per ciascun luogo del modello, il tempo medio di permanenza dei casi in transito.

Questo approccio consente di scindere con precisione due componenti temporali fondamentali:

- Tempo di esecuzione (Service Time): la durata effettiva necessaria al completamento di una specifica attività;
- Tempo di attesa o coda (Waiting/Queue Time): il tempo di inattività trascorso tra il completamento di un'attività e l'inizio della successiva.

Un tempo di attesa anomalmente lungo tra due attività consecutive costituisce l'indicatore diagnostico primario di un collo di bottiglia, e la sua visualizzazione diretta sul modello – ad esempio colorando gli archi o i nodi in funzione del tempo medio di attesa – consente di individuare in modo immediato e oggettivo dove il processo rallenta, superando la natura puramente qualitativa delle valutazioni basate sull'esperienza soggettiva degli operatori.

1.8.3.2 Analisi dei costi e individuazione degli sprechi

Un'estensione concettualmente affine riguarda la proiezione sul modello delle informazioni di costo, attraverso l'applicazione di metodologie di costing consolidate – quali l'Activity Based Costing (ABC) e la Resource Consumption Accounting (RCA) – ai dati registrati nell'event log (van der Aalst, 2016). L'attribuzione di un costo a ciascuna attività, e la sua aggregazione lungo l'intero percorso seguito da una traccia, consente di individuare non soltanto dove il processo è lento, ma anche dove genera un dispendio economico sproporzionato rispetto al valore prodotto, offrendo un criterio oggettivo per la prioritizzazione degli interventi di miglioramento e per l'individuazione di attività ridondanti o eliminabili.

1.8.3.3 Analisi delle risorse e del carico di lavoro

Una terza estensione riguarda la proiezione della prospettiva organizzativa (§ 1.5.2) sul modello di processo, tipicamente attraverso la costruzione di reti sociali basate sulla metrica dell'"handover of work" già introdotta nel paragrafo 1.5.2, e attraverso strumenti di visualizzazione quali il dotted chart, che rappresenta ogni evento come un punto la cui posizione, colore e forma dipendono dagli attributi dell'evento stesso (van der Aalst, 2016).

Questo tipo di analisi consente di individuare pattern di carico di lavoro squilibrato tra le risorse coinvolte, periodi di inattività prolungata di specifici operatori, o strutture organizzative implicite – ruoli, unità funzionali – non esplicitamente codificate nei sistemi informativi ma ricostruibili empiricamente a partire dalla distribuzione delle attività tra i diversi esecutori.

1.8.4 Simulazione e analisi "what-if"

L'integrazione delle diverse prospettive in un unico modello arricchito apre la strada a un ulteriore utilizzo del Process Enhancement: la generazione di modelli di simulazione capaci di riprodurre fedelmente il comportamento del processo, poiché fondati sull'evidenza empirica dell'event log anziché su una modellazione puramente umana e soggettiva (van der Aalst, 2016).

Van der Aalst (2016) distingue, a questo proposito, tra analisi transiente e analisi a regime (steady-state): la prima si concentra sul comportamento a breve termine a partire dallo stato attuale del sistema – incluso l'eventuale carico di lavoro accumulato – ed è particolarmente rilevante per le decisioni operative di breve periodo; la seconda, più diffusa negli strumenti di simulazione tradizionali, ignora lo stato iniziale e si concentra

sul comportamento del sistema a regime, risultando più adatta a supportare decisioni di natura strategica e tattica.

È proprio questa capacità di esplorare scenari futuri alternativi – cosa accadrebbe, ad esempio, aggiungendo una risorsa a un determinato passo del processo, o modificando una regola di instradamento – che identifica la simulazione "what-if" come lo strumento più immediatamente riconducibile alla capacità predittiva del Process Enhanchement, distinguendola nettamente dalla natura puramente descrittiva delle altre tecniche di Process Mining discusse fin qui.

1.8.5 Predictive Process Monitoring (cenni)

Le tecniche discusse nei paragrafi precedenti operano tipicamente su dati "post mortem", ossia relativi a istanze di processo già concluse, e non sono pertanto in grado, di per sé, di influenzare l'esecuzione dei casi ancora in corso (van der Aalst, 2016). La crescente disponibilità di dati aggiornati in tempo quasi reale ha reso possibile estendere l'ambito del Process Mining al supporto operativo online, di cui il Predictive Process Monitoring costituisce l'applicazione più rilevante (Di Francescomarino et al., 2018).

A partire dai dati "pre mortem" relativi a un caso ancora in corso, questa disciplina utilizza algoritmi di apprendimento automatico per affrontare tre compiti predittivi primari:

- Previsione del tempo residuo (remaining time prediction): stimare il tempo mancante alla chiusura della traccia;
- Previsione del percorso futuro (next activity prediction): anticipare quali passi verranno intrapresi nell'immediato;
- Previsione dell'esito o del rischio (outcome/SLA prediction): valutare la probabilità che il caso termini con un esito negativo o violi un vincolo di conformità.

Sebbene una trattazione tecnica approfondita di queste tecniche esuli dall'ambito propriamente definito del Process Enhancement classico, la loro menzione in questa sede è utile a evidenziare la naturale continuità tra l'arricchimento retrospettivo del modello e il suo impiego prospettico a supporto delle decisioni operative correnti.

1.8.6 Verso l'AI-Augmented BPM: integrazione di tecniche di intelligenza artificiale nel ciclo di enhancement

Gli sviluppi più recenti della disciplina, che segnano il passaggio verso un paradigma definito dalla letteratura come AI-Augmented BPM (Janiesch et al., 2021), tendono a integrare in modo sempre più stretto le tecniche tradizionali di Process Enhancement con approcci di intelligenza artificiale avanzata. Questa evoluzione mira a trasformare il Process Mining da uno strumento puramente analitico e diagnostico a un sistema di supporto operativo proattivo e prescrittivo.

L'integrazione si manifesta, in primo luogo, nell'applicazione sistematica di algoritmi di machine learning al Predictive Process Monitoring (§ 1.8.5). L'obiettivo è migliorare

l'accuratezza nel prevedere l'esito di un processo in corso, il tempo di completamento rimanente o la probabilità di violazione dei Service Level Agreement (SLA) prima che questa si verifichi (Di Francescomarino et al., 2018; Janiesch et al., 2021). Questi modelli predittivi, addestrati su dati storici (post mortem), vengono applicati in tempo reale a tracce parziali (pre mortem) per fornire avvisi tempestivi e raccomandare decisioni correttive.

In secondo luogo, l'avvento dell'intelligenza artificiale generativa (GenAI) e dei Large Language Models (LLM) sta rivoluzionando la capacità di interpretare i risultati analitici e di generare raccomandazioni operative (Vidgof et al., 2023). La GenAI apporta una fondamentale capacità di contestualizzazione semantica, permettendo di identificare la natura delle attività ed estrarre KPI rilevanti anche da event log privi di forte personalizzazione o fortemente destrutturati.

In questo contesto, la letteratura più recente sta formalizzando il concetto di Conversational Process Mining (Vidgof et al., 2023), in cui gli LLM vengono impiegati come interfacce conversazionali avanzate capaci di tradurre interrogazioni espresso in linguaggio naturale (ad esempio:" Quali sono le tre principali cause di ritardo nell'approvazione degli ordini sopra i 10.000 euro?") in query complesse sugli event log. Questo approccio democratizza l'accesso all'analisi dei processi, consentendo agli esperti di dominio non tecnici di interagire direttamente con i dati di processo e di ricevere raccomandazioni prescrittive per l'ottimizzazione del workflow.

1.9 Benefici e casi d'uso aziendali

Dopo aver ricostruito, nei paragrafi 1.6-1.8, l'apparato metodologico delle tre modalità operative del Process Mining, questo paragrafo ne considera la ricaduta pratica, illustrando i benefici documentati in letteratura industriale e nei casi di studio aziendali. Come osservato da Rienkemeyer (a cura di, 2020), la complessità organizzativa. – riconducibile alla gestione simultanea di centinaia di migliaia di fornitori e di milioni di ordini, consegne e transazioni finanziarie – rappresenta oggi una sfida trasversale a organizzazioni di ogni dimensione, e il Process Mining si configura come una delle leve tecnologiche più rilevanti per affrontarla.

1.9.1 Trasparenza e oggettivazione dei processi reali

Il beneficio più immediato e più frequentemente richiamato in letteratura riguarda la trasparenza end-to-end sui processi aziendali: la possibilità di osservare come i processi si svolgono effettivamente, anziché come si presume che si svolgano sulla base di documentazione procedurale spesso disallineata dalla prassi operativa (Reinkemeyer, a cura di, 2020; Glebova, 2024).

Questo beneficio, che ricalca da vicino la distinzione tra approccio model-driven e approccio data-driven discussa nel paragrafo 1.3.1, si traduce concretamente nell'allineamento di indicatori di performance condivisi tra le funzioni aziendali e nella possibilità di individuare le cause profonde (root cause) dei problemi di performance rilevanti, superando la soggettività intrinseca alle rilevazioni basate su interviste o

percezioni individuali (Glebova,2024). Reinkemeyer (a cura di, 2020) sottolinea come nessun'altra tecnologia sia in grado di offrire un livello comparabile di trasparenza processuale, rendendo questo beneficio il presupposto logico su cui si fondano tutti gli altri.

1.9.2 Efficienza e produttività: colli di bottiglia, ritardi e attività ridondanti

Un secondo ordine di benefici, direttamente riconducibile alle tecniche di Process Enhancement descritte nel paragrafo 1.8, riguarda l'identificazione sistematica di colli di bottiglia, fonti di ritardo e attività ridondanti o automatizzabili. I casi di studio raccolti da Reinkemeyer (a cura di, 2020) documentano applicazioni ambientate nei grandi processi trasversali aziendali – in particolare il Procure-to-Pay (P2P) o l'Order-to-Cash (O2C) – e in ambito manifatturiero, dove il Process Mining consente di individuare le cause di interruzioni nelle linee di produzione parallele (es. fermi macchina o colli di bottiglia che generano spostamenti anomali di materiale tra linee).

In linea con questi risultati, la letteratura applicativa di settore (Glebova, 2024) documenta come l'ottimizzazione empirica del ciclo Order-to-Cash possa condurre a risultati quantificabili di primario rilievo, tra cui incrementi fino al 10% nella puntualità delle consegne (on-time delivery) e riduzioni nell'ordine del 40% delle modifiche manuali agli ordini (manual rework), a testimonianza della concretezza operativa – e non meramente diagnostica – di questo tipo di intervento.

1.9.3 Qualità e Customer Experience

Un terzo ambito di beneficio riguarda la qualità del servizio erogato e l'esperienza del cliente. L'analisi delle varianti di processo (§ 1.7.5) consente alle organizzazioni di comprendere per quali ragioni specifiche istanze di processo – ad esempio specifici ordini o pratiche – presentino esiti negativi o tempi di attraversamento anomali, permettendo interventi mirati sul percorso del cliente.

Reinkemeyer (a cura di, 2020) documenta, a questo proposito, casi in cui l'analisi dei termini di pagamento rivela sistematici disallineamenti tra il processo assunto come standard ("to-be") e il processo effettivamente eseguito ("as-is"), con impatti diretti sulla soddisfazione del cliente e sulla gestione del capitale circolante: l'individuazione di tali scostamenti consente, ad esempio, di introdurre meccanismi di incentivo al pagamento puntuale (cash discount) fondati su un'evidenza empirica precisa dei tempi e degli stati effettivi delle transazioni, anziché su assunzioni procedurali non verificate.

1.9.4 Governance, rischio e conformità (GRC)

Il quarto ambito di beneficio, strettamente connesso alle tecniche di Conformance Checking illustrate nel paragrafo 1.7 – in particolare ai livelli di verifica organizzativa e al principio del doppio controllo (§ 1.7.6.3) – riguarda la Governance, il Risk Management e la Compliance. Il modello a catena del valore adottato da Reinkemeyer (a cura di, 2020) per classificare i casi di studio raccolti nel volume include esplicitamente Governance e Compliance & Audit tra le attività di supporto in cui il Process Mining

trova applicazione ricorrente, con casi documentati in ambiti quali l'auditing dei processi finanziari e il controllo di conformità nella gestione degli acquisti.

La possibilità di rilevare in modo sistematico e su scala potenzialmente enterprise-wide violazioni normative o procedurali, anziché affidarsi a controlli campionari periodici, rappresenta uno degli usi originari e più consolidati nella disciplina in ambito industriale, come già osservato a proposito della genesi commerciale del Process Mining nel paragrafo 1.2.4, dove i primi progetti aziendali erano tipicamente circoscritti proprio a iniziative di audit.

1.9.5 Agilità aziendale: validazione data-driven del cambiamento

Un quinto beneficio, di natura più strategica, riguarda la capacità del Process Mining di supportare l'agilità organizzativa, intesa come capacità di validare rapidamente gli effetti di un cambiamento sulla base di evidenza empirica anziché di intuizioni non verificate. I materiali didattici di settore (Glebova, 2024) individuano in questo ambito due leve complementari: da un lato, la possibilità di validare le modifiche di processo in tempi prossimi al reale, verificandone l'impatto effettivo poco dopo l'implementazione; dall'altro, la possibilità di prioritizzare le azioni di sviluppo organizzativo sulla base del beneficio atteso più elevato, anziché distribuire in modo indifferenziato gli sforzi di miglioramento su tutte le aree di processo identificate.

Questa capacità di individuare cambiamenti non documentati – varianti emergenti, deviazioni non formalizzate, adattamenti informali introdotti dagli operatori – costituisce, in ultima analisi, l'applicazione più diretta della definizione di Process Mining come approccio data-driven fornita nel paragrafo 1.1.1, poiché consente all'organizzazione di apprendere dalla propria stessa operatività anziché limitarsi a pianificarla ex ante.

1.9.6 Sintesi del valore strategico per il management

Nel loro complesso, i cinque benefici appena discussi delineano un valore strategico del Process Mining che eccede la somma dei singoli casi d'uso funzionali. Come osservato da Reinkemeyer (a cura di, 2020), il valore generato dalla disciplina risiede nella capacità di evolvere da un approccio a progetto (one-off project) a un modello di monitoraggio continuo (Continuous Process Monitoring).

Inoltre, tale valore non si esaurisce nella sola dimensione economica – riduzione dei costi transazionali, miglioramento della produttività, mitigazione del rischio di non conformità – ma si estende a dimensioni ambientali e di sostenibilità (Green BPM), laddove l'identificazione di inefficienze processuali consente di ridurre consumi energetici, carta e sprechi di materiale.

È significativo, in questa prospettiva, che i casi di adozione enterprise-wide documentati in letteratura – tra cui BMW, Siemens e Deutsche Telekom – collochino il Process Mining non più come strumento diagnostico isolato, ma come tecnologia abilitante trasversale a supporto della trasformazione digitale complessiva dell'organizzazione, anticipando così le riflessioni sulle sfide metodologiche e tecnologiche e sulle direzioni di sviluppo future della disciplina discusse nel paragrafo 1.10.

1.10 Sfide attuali e direzioni di ricerca

Concluso l'esame dei benefici documentati nella pratica aziendale (§ 1.9), è opportuno chiudere il capitolo teorico con una discussione delle sfide ancora aperte. A questo proposito, la fonte più autorevole ttra i materiali disponibili è il capitolo di outlook accademico scritto dallo stesso van der Aalst (2020) in chiusura del volume curato da Reinkemeyer, nel quale l'autore che per primo ha "inventato" la disciplina (cfr. § 1.2.2) ne discute apertamente i limiti ancora irrisolti – un'operazione di onestà intellettuale che egli stesso definisce, non a caso, una "incovenient truth".

1.10.1 Scalabilità su event log di grandi dimensioni (big data)

Nonostante oltre un decennio di sviluppo, van der Aalst (2020) osserva come l'usabilità, la qualità delle diagnosi e la scalabilità degli strumenti software disponibili lascino ancora desiderare. Un esempio emblematico è rappresentato dal problema dei Directly-Follows Graph filtrati (cfr. § 16.3.4), oggi alla base della quasi totalità degli strumenti commerciali di Discovery: van der Aalst dimostra empiricamente come il filtraggio dei percorsi meno frequenti, necessario per rendere leggibili modelli costruiti su log di grandi dimensioni, possa produrre risultati sistematicamente fuorvianti – ad esempio suggerendo l'esistenza di cicli di rilavorazione dove, in realtà, ciascuna attività viene eseguita esattamente una sola volta per istanza – con conseguenze dirette sull'affidabilità delle frequenze e dei tempi medi calcolati.

Questo esempio, riprodotto in modo identico dai tre principali strumenti presi in esame nello studio (ProM, Disco e Celonis), mostra come il problema della scalabilità non sia soltanto una questione di prestazioni computazionali, ma investa la correttezza stessa dei risultati prodotti su larga scala.

1.10.2 Qualità e affidabilità dei dati (rumore, incompletezza, privacy by design)

Le problematiche di qualità del dato già discusse nel paragrafo 1.4.5 in relazione alla costruzione dell'event log si ripropongono, a un livello più generale, come sfida di ricerca aperta. Van der Aalst (2020) sottolinea come Process Discovery e Conformance Checking – pur costituendo i due problemi fondativi della disciplina – non possano ancora dirsi risolti in modo pienamente soddisfacente dal punto di vista scientifico, e come le tecniche allo stato dell'arte offrano soluzioni solo parziali anche su dati reali di buona qualità.

A questa sfida si affianca, in modo sempre più stringente, la necessità di una gestione della qualità del dato che integri fin dalla progettazione (by design) considerazioni di riservatezza: come discusso nel paragrafo 1.10.7, la tutela della privacy non può più essere trattata come un vincolo esterno da soddisfare a posteriori, ma deve orientare le scelte tecniche relative alla raccolta e alla memorizzazione stessa dei dati di evento.

1.10.3 Concept drift: processi che cambiano nel tempo

Tra le sfide più rilevanti individuate da van der Aalst (2020) figura la necessità di tecniche di Process Mining comparativo (comparative Process Mining), finalizzate a identificare

le differenze rilevanti tra varianti di processo tra due mesi consecutivi, o tra due sedi operative differenti – anziché limitarsi a fornire valori aggregati statici. Questa esigenza riflette il fenomeno più generale noto come concept drift: i processi aziendali reali non sono entità stabili nel tempo, ma evolvono in risposta a cambiamenti organizzativi, normativi o di mercato, e un modello scoperto e validato in un determinato momento può risultare rapidamente obsoleto.

Van der Aalst osserva come il confronto tra modelli di processo, a differenza del confronto tra semplici valori aggregati, sia tutt'altro che agevole dal punto di vista tecnico, e come le tecniche sviluppate per affrontarlo combinino strumenti di visualizzazione comparativa con approcci di machine learning basati su feature specificamente derivate dal processo.

1.10.4 Object-Centric Process Mining: superamento del vincolo del singolo Case ID

Una delle sfide più strutturali individuate da van der Aalst (2020) riguarda il superamento dell'assunzione, alla base di tutte le tecniche discusse nei paragrafi 1.4-1.8, secondo cui ogni evento fa riferimento a un unico Case ID e ogni caso fa riferimento a un unico processo. Nella realtà organizzativa, osserva l'autore, questa assunzione è spesso una semplificazione eccessiva: possono coesistere processi diversi ma intrecciati tra loro, un medesimo evento può essere pertinente a più casi contemporaneamente (fenomeno definito convergenza — si pensi a un ordine che coinvolge più prodotti, pagamenti e consegne, tipicamente distribuiti su tabelle distinte di un sistema informativo), e uno stesso caso può presentare più istanze della medesima attività (fenomeno definito divergenza).

La necessità di "appiattire" (flatten) questi dati in un'unica struttura per applicare le tecniche tradizionali comporta scelte arbitrarie che producono modelli parziali e tra loro disconnessi. Il Process Mining object-centric (OCPM) rilassa questa assunzione consentendo a un evento di riferirsi a un numero qualsiasi di oggetti di business simultaneamente. Questa evoluzione teorica (van der Aalst, 2019) ha trovato formalizzazione nel nuovo formato standard OCEL (Object-Centric Event Log), concepito come estensione e superamento dello standard IEEE 1849-2016 (XES) (§ 1.4.4), permettendo la scoperta di modelli integrati capaci di mostrare le interazioni tra più oggetti di processo senza le distorsioni e le duplicazioni introdotte dall'appiattimento (flattening) forzato dei dati.

1.10.5 Explainable AI (XAI) e interpretabilità dei modelli complessi

Una sfida contigua riguarda la necessità di un Process Mining causality-aware, ossia consapevole della distinzione tra correlazione e causalità (van der Aalst, 2020). L'autore avverte che la combinazione di tecniche diagnostiche e modelli di machine learning applicati ai dati di evento rischia di identificare correlazioni spurie – come l'esempio classico della relazione tra vendite di gelati e furti con scasso, entrambe condizionate dalle condizioni climatiche – col rischio di produrre diagnosi errate o discriminatorie (ad

esempio attribuendo la responsabilità di un ritardo ai lavoratori più esperti, sistematicamente caricati dei casi più complessi).

A questa esigenza di rigore causale si affianca la necessità di garantire l'interpretabilità dei modelli predittivi avanzati attraverso l'Explainable AI (XAI) applicata al Process Minin (Galanti et al.,2023). Man mano che il Predictive Process Monitoring (§ 1.8.5) adotta algoritmi complessi a "scatola chiusa" (black-box), come reti neurali profonde o ensemble di alberi, l'XAI fornisce tecniche per rendere trasparenti e intelligibili agli stakeholder aziendali i motivi per cui una determinata previsione di rischio o di SLA è stata generata, elemento indispensabile per costruire fiducia nelle decisioni automatizzate e soddisfare i requisiti di audit.

1.10.6 Integrazione con RPA, IoT e sistemi multi-agente

Van der Aalst (2020) individua, tra le tendenze di sviluppo più recenti, il crescente focus sul passaggio della diagnosi all'intervento: il Process Mining tende infatti a concentrarsi sulla diagnostica più che sulle azioni correttive conseguenti, ragione per cui la disciplina viene sempre più spesso integrata con la Robotic Process Automation, utilizzata sia per identificare compiti manuali automatizzabili sia per monitorare i software robot già implementati.

Nello stesso capitolo, l'autore introduce inoltre il concetto complementare di Robotic Process Management (RPM), inteso non come automazione dei singoli passi operativi, bensì come traduzione automatica delle diagnosi di Process Mining in azioni gestionali – ad esempio l'allerta automatica di un responsabile o la riassegnazione del carico di lavoro in presenza di un collo di bottiglia emergente.

Parallelamente, l'integrazione con dispositivi IoT introduce sfide specifiche sul piano della qualità del dato: il caso aziendale di Siemens Healthineers documentato da Reinkemeyer (a cura di, 2020) segnala esplicitamente come i log di eventi generati dai sistemi IoT si presentino tipicamente in formato non strutturato, un problema ricorrente che complica ulteriormente le fasi di estrazione e pre-processing già discusse nel paragrafo 1.4.6.

1.10.7 Aspetti etici, privacy e conformità normativa (es. GDPR) nell'analisi dei dati di processo

L'ultima sfida discussa da van der Aalst (2020), colloca la sfida della riservatezza all'interno del più ampio paradigma della Responsible Data Science, articolato attorno ai quattro principi noti con l'acronimo FACT: Fairness (equità e assenza di discriminazioni), Accuracy (accuratezza e fedeltà dei modelli), Confidentiality (riservatezza e tutela del dato) e Transparency (trasparenza e interpretabilità dei processi analitici) e non a caso collocata a chiusura della sua rassegna, riguarda la necessità di un Process Mining "confidentiality-aware", volto a evitare la divulgazione non intenzionale di informazioni sensibili.

L’autore osserva come i dati di evento siano potenzialmente molto sensibili: pochi eventi con marca temporale sono spesso sufficienti a identificare univocamente un cliente o un dipendente, e persino la semplice sequenza delle attività eseguite — a prescindere dai timestamp espliciti — può risultare sufficiente a tale identificazione. La tutela della riservatezza costituisce pertanto, a giudizio dell’autore, una preoccupazione primaria per la disciplina, che la ricerca più recente affronta sviluppando tecniche dedicate di anonimizzazione e cifratura (Fahrenkrog-Petersen et al., 2021) — ad esempio memorizzando esclusivamente le relazioni di successione diretta tra attività necessarie a costruire un Directly-Follows Graph, senza dover conservare la correlazione completa di ogni evento al proprio caso.

Van der Aalst richiama esplicitamente l’introduzione del Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati dell’Unione Europea (GDPR) come testimonianza della crescente rilevanza di questo tema, e colloca la sfida della riservatezza all’interno del più ampio dominio della Responsible Data Science, articolato attorno a quattro principi — equità (fairness), accuratezza (accuracy), riservatezza (confidentiality) e trasparenza (transparency) — che a suo avviso dovranno guidare lo sviluppo della prossima generazione di strumenti di Process Mining.

Un’analoga sensibilità al tema emerge, sul versante applicativo, dal caso aziendale di Deutsche Telekom documentato nello stesso volume, dove l’estensione del Process Mining a processi relativi alle risorse umane viene esplicitamente descritta come un percorso reso possibile solo grazie a un’attenta gestione della sicurezza e della riservatezza dei dati.

Capitolo 2

2.1 Il contesto di analisi: la gestione della morosità nel settore utility

Dopo aver ricostruito, nel capitolo precedente, l'impianto teorico e metodologico del Process Mining, il presente capitolo introduce il dominio applicativo su cui tale impianto viene impiegato nella parte sperimentale della tesi: la gestione della morosità di un venditore di energia elettrica e gas.

L'obiettivo è duplice. Per prima cosa, ricostruire il processo di credit management nella sua articolazione operativa, dalla rilevazione dell'insoluto fino all'incasso del credito o allo stralcio a perdita, mettendo in evidenza le ragioni per cui tale processo costituisce un caso di studio particolarmente indicato per l'applicazione delle tecniche discusse nel capitolo 1.

Seconda cosa, definire il quadro regolatorio e organizzativo entro cui il processo si svolge – le tutele previste dalla normativa a favore dei clienti in difficoltà e l'insieme dei sistemi informativi e delle unità aziendali coinvolte – quale premessa indispensabile per l'interpretazione dei risultati che saranno poi presentati nei capitoli successivi.

Le informazioni riportate in questo capitolo fanno riferimento alla documentazione predisposta a corredo dell'event log utilizzato nella parte sperimentale della tesi e alla regolazione dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) in materia di morosità nei mercati retail dell'energia elettrica e del gas naturale. Il capitolo, infine, si chiude tracciando il collegamento tra i fenomeni organizzativi e normativi descritti e gli obiettivi di analisi che guideranno la costruzione dei modelli discussa a partire dal capitolo successivo.

2.2 Il ciclo di gestione del credito nell'energia e gas

2.2.1 Il credit management come processo end-to-end

Il credit management di un venditore di energia elettrica e gas è il processo con cui l'azienda governa l'intero ciclo di vita del credito commerciale generato dalla fatturazione periodica: dalla rilevazione automatica del mancato pagamento fino alla chiusura della pratica, che può concludersi con l'incasso – in una qualsiasi delle fasi del processo – oppure con lo stralcio del credito a perdita quando le azioni di recupero si rivelano infruttuose o antieconomiche. Si tratta di un processo end-to-end nel senso proprio del Business Process Management: che interessa in sequenza più unità organizzative, ciascuna responsabile di un sottoinsieme di attività, ed ha come fine un risultato di interesse per il cliente esterno – la regolarizzazione della posizione debitoria – pur avendo natura prevalentemente amministrativa e non commerciale in senso stretto.

A differenza di molti processi transazionali a percorso relativamente lineare, il credit management dell'energia presenta tre caratteristiche che lo rendono un caso di studio particolarmente interessante per il Process Mining. In primo luogo, l'elevata variabilità

dei percorsi: non tutte le pratiche attraversano le stesse attività, e la sequenza effettivamente seguita dipende da eventi non pianificabili a priori, come la presentazione di un reclamo, la richiesta di una rateizzazione o la recidiva di un cliente già stato moroso in passato. In secondo luogo, la presenza di vincoli normativi stringenti sui tempi, imposti dalle regole del settore a tutela del cliente finale, che trasformano l'analisi delle prestazioni temporali da esercizio di efficienza operativa a verifica di conformità normativa. In terzo luogo, il coinvolgimento di un soggetto esterno all'azienda venditrice – cioè il distributore locale, responsabile dell'atto materiale della sospensione e della riattivazione della fornitura – che introduce nel processo una componente di interoperabilità fra sistemi e organizzazioni distinte, con tempi di risposta che il venditore subisce e che non può governare direttamente.

2.2.2 Le fasi del processo: dalla fatturazione al recupero del credito

Il processo modellato nell'event log si compone di diciannove attività, che possono essere ricondotte a quattro macro-fasi logicamente distinte, sintetizzate nella Tabella 2.2.2: la fatturazione e la rilevazione dell'insoluto, che sono interamente automatizzate; la gestione bonaria del credito, condotta attraverso solleciti e contatti diretti con il cliente e comprensiva dell'eventuale gestione di un reclamo; la costituzione in mora e l'eventuale sospensione della fornitura, fase in cui intervengono sia il Credit Management sia il distributore esterno; e infine il recupero giudiziale del credito, che si applica ai casi che non si sono chiusi nelle fasi precedenti.

Macro-fase	Attività	Unità responsabile
Fatturazione e rilevazione dell'insoluto	Emissione Fattura; Rilevazione Insoluto	Sistema Automatico
Gestione bonaria del credito	Sollecito Bonario; Contatto Outbound Cliente; Gestione Reclamo; Rettifica Fattura; Chiusura Reclamo	Back Office Fatturazione; Call Center Outbound; Ufficio Reclami
Costituzione in mora e sospensione	Verifica Cliente Non Disalimentabile; Costituzione in Mora; Richiesta Rateizzazione; Valutazione Piano di Rateizzazione; Verifica Incasso; Richiesta Sospensione a Distributore; Sospensione Fornitura; Riattivazione Fornitura	Credit Management; Distributore (SII)
Recupero giudiziale e chiusura	Risoluzione Contratto; Affido a Recupero Crediti; Decreto Ingiuntivo; Chiusura Pratica	Legale e Recupero Crediti; Sistema Automatico

Tabella 2.2.2 – Macro – fasi del processo di credit management e attività corrispondenti

La rilevazione dell'insoluto è generata automaticamente dal sistema di billing alla scadenza della fattura non pagata, senza intervento umano; da questo momento il caso può seguire percorsi molto diversi fra loro. Nella maggior parte delle pratiche il sollecito bonario e l'eventuale contatto telefonico o multicanale sono sufficienti a ottenere il pagamento; in alcuni casi interviene invece vi è un reclamo del cliente – ad esempio sulla correttezza dell'importo fatturato – che apre un sottoprocesso gestito dall'Ufficio Reclami, in interazione con il Back Office Fatturazione per l'eventuale rettifica. Se il sollecito bonario non porta a nessun esito, il procedimento entra nella fase regolata più rigidamente: viene fatta una verifica preventiva dello stato di cliente non disalimentabile, poi la costituzione formale in mora, e l'eventuale accesso a un piano di rateizzazione – che viene valutato dal Credit Management o, dopo la digitalizzazione del processo discussa nel capitolo successivo, gestito in modalità self-service. Solamente in seguito, in assenza di pagamento, viene fatta la richiesta di sospensione della fornitura al distributore competente. Solo una minima parte di pratiche giunge fino alla risoluzione contrattuale e all'affido al recupero crediti, con l'eventuale attivazione di un decreto ingiuntivo: è la fase a minor volume ma a maggior costo unitario dell'intero processo, come discusso nel paragrafo 2.4.2.

Questa strutturazione trova conferma nella distribuzione dei dieci esiti finali codificati nell'attributo di caso esito_finale del log: alcune pratiche si chiudono con un incasso ottenuto già in fase bonaria, altre solo dopo la costituzione in mora, dopo la gestione di un reclamo o dopo l'attivazione della sospensione; altre ancora si concludono con una rateizzazione portata a termine, con un incasso ottenuto per via giudiziale o tramite recupero esterno, oppure – nei casi più gravi – con un recupero giudiziale privo di esito o con lo stralcio del credito a perdita. Una parte residuale dei casi, infine, risulta ancora aperta al termine della finestra di osservazione: si tratta dei casi troncati a destra, un fenomeno di cui occorrerà tenere conto in sede di preparazione del dato, come indicato nel piano delle analisi.

2.2.3 Variabilità del processo e idoneità al Process Mining

Le caratteristiche appena descritte chiariscono come il ciclo di gestione del credito si presti in modo naturale alle quattro prospettive di analisi introdotte nel capitolo 1(van der Aalst 2016). La prospettiva di controllo di flusso trova terreno fertile nell'elevata variabilità dei percorsi e nei cicli di rilavorazione presenti nel processo: la ripetizione dei solleciti bonari quando il primo tentativo non ha portato ad esito, l'alternanza fra Ufficio Reclami e Back Office Fatturazione nella coppia Gestione Reclamo – Rettifica Fattura, i piani di rateizzazione respinti e ripresentati, e il ciclo dei clienti recidivi, che rientrano in condizione di morosità dopo essere stati già riattivati in passato. La prospettiva organizzativa è resa rilevante dal numero di unità coinvolte – sette unità organizzative distinte, per un totale di ventotto risorse nominali, con una media di sei risorse diverse per singolo caso – e dai passaggi di lavoro fra di esse, che costituiscono di per sé un oggetto di analisi (§ 2.4.2).

La prospettiva temporale è resa obbligatoria dai vincoli normativi discussi nel paragrafo 2.3, che stabiliscono all'interno del processo tempi minimi e massimi verificabili

puntualmente sul log, trasformando in questo modo l'analisi delle prestazioni in un esercizio non solo gestionale ma anche di conformità. Infine, la prospettiva dei dati e dei casi trova applicazione negli attributi di segmentazione disponibili – commodity, segmento di clientela, area geografica, fascia di importo, anzianità del rapporto, condizione di bonus sociale o di cliente non disalimentabile – che permettono di distinguere sottopopolazioni di casi con comportamenti sistematicamente differenti, anziché limitarsi a una lettura aggregata del processo.

Questa combinazione di variabilità dei percorsi, vincoli temporali normati e coinvolgimento di un attore esterno non governabile – il distributore – rendono il processo di gestione della morosità un caso di studio particolarmente ricco per l'applicazione congiunta di discovery, analisi delle prestazioni e conformance checking, secondo il percorso che verrà seguito nei capitoli successivi.

2.3 Il quadro normativo a tutela del cliente

2.3.1 La regolazione ARERA della morosità: TIMOE e TIMG

Il processo di gestione della morosità nel settore energetico italiano non è un processo liberamente delineato dal singolo venditore, ma si svolge entro un perimetro normativo definito dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA). Per l'energia elettrica il riferimento è il Testo Integrato Morosità Elettrica (TIMOE), adottato con la delibera 258/2015/R/com e successivamente aggiornato; per il gas naturale la disciplina analoga è contenuta nel Testo Integrato Morosità Gas (TIMG), adottato con la delibera ARG/gas 99/11. Entrambi i testi regolano in modo corrispondente le modalità e le tempistiche con cui il venditore può costituire in mora il cliente moroso, richiedere la sospensione della fornitura al distributore competente e, nei casi più gravi, risolvere il contratto di fornitura.

Lo schema procedurale previsto dal TIMOE può essere riassunto in tre passaggi. Il venditore, decorsa la scadenza della fattura non pagata, invia al cliente una comunicazione di costituzione in mora – tipicamente a mezzo raccomandata o posta elettronica certificata – che pone un termine ultimo per il pagamento: non inferiore a venticinque giorni solari per i clienti domestici in bassa tensione e a quaranta giorni solari per le altre tipologie di clienti finali. Decorso tale termine e comunque non prima di tre giorni lavorativi dalla sua scadenza, il venditore può inoltrare al distributore la richiesta di sospensione della fornitura; per i clienti domestici la sospensione totale è preceduta, quando è tecnicamente possibile, da una riduzione della potenza disponibile al quindici per cento per un periodo di quindici giorni. In caso di mancato rispetto di queste tempistiche o modalità da parte del venditore, il regolamento prevede indennizzi automatici a favore del cliente.

È bene precisare che l'event log oggetto di analisi codifica una versione semplificata di questi vincoli, costruita a fini didattici a partire dai principi generali della regolazione piuttosto che dalla loro trascrizione letterale: la soglia di preavviso minimo utilizzata nella regola di conformità V2 (§ 2.3.3), pari a venti giorni solari più tre giorni lavorativi, è un

parametro unico e semplificato rispetto alla differenziazione reale fra clienti domestici in bassa tensione e altre tipologie di clienti finali. Questa scelta non compromette la validità metodologica dell'esercizio di conformance checking che verrà condotto nei capitoli successivi – che rimane pienamente valido rispetto alle regole come definite nel dataset – mentre impone una cautela specifica nel momento in cui i risultati venissero confrontati con la conformità al TIMOE nel suo significato integrale.

2.3.2 Bonus sociale e clienti non disalimentabili

Accanto alla disciplina generale della morosità, la regolazione ARERA prevede due distinte forme di tutela rafforzata per specifiche categorie di clienti, entrambe rilevanti per il processo oggetto di analisi. La prima è il bonus sociale, disciplinato dal Testo Integrato delle modalità applicative dei regimi di compensazione della spesa sostenuta dai clienti domestici disagiati (TIBEG), adottato con la delibera 402/2013/R/com: una compensazione economica riconosciuta ai nuclei familiari in condizione di disagio economico – individuata sulla base dell'Indicatore della Situazione Economica Equivalente (ISEE) - o di disagio fisico, quest'ultimo riservato ai nuclei in cui sia presente una persona che necessita di apparecchiature medico-terapeutiche salvavita alimentate elettricamente.

La seconda forma di tutela riguarda i clienti finali non disalimentabili, disciplinati dall'articolo 23 del TIMOE: si tratta di utenze per le quali, indipendentemente dallo stato della posizione debitoria, la sospensione della fornitura non può essere eseguita. Rientrano in questa categoria i clienti domestici titolari di bonus sociale per disagio fisico – che in Italia coinvolgono, secondo le stime riportate dai distributori, circa centocinquantamila utenze dotate di apparecchiature elettromedicali indispensabili alla sopravvivenza – e le strutture di pubblica utilità individuate dalla delibera CIPE 91/1979 (CIPE,1979), quali ospedali e altri presìdi essenziali. Ogni distributore è tenuto a mantenere un elenco aggiornato dei punti di prelievo classificati come non disalimentabili, elenco che il venditore deve consultare prima di avviare qualunque procedura di sospensione: è precisamente questo passaggio a essere codificato, nel processo modellato dal log, dall'attività Verifica Cliente Non Disalimentabile, collocata sistematicamente prima della Costituzione in Mora.

Nel log di eventi queste due tutele sono rappresentate dagli attributi di caso bonus_sociale e cliente_non_disalimentabile, entrambi codificati come SI/NO: si tratta di caratteristiche diverse – un cliente può percepire il bonus sociale per disagio economico senza per questo essere non disalimentabile – ma che condividono la medesima conseguenza procedurale quando la tutela rafforzata è applicabile, cioè l'impossibilità di procedere alla sospensione della fornitura anche in presenza di un credito insoluto rilevante.

2.3.3 Le regole di conformità: dal quadro normativo ai controlli sul log

Ai fini della parte di conformance checking della tesi, i principi normativi appena descritti sono stati tradotti in sei regole di conformità direttamente verificabili a partire dal solo contenuto del log, senza il ricorso a informazioni esterne. Le regole – identificate con i codici V1, V2, V3, V4, V6 e V7 nella documentazione fornita a corredo del dataset – sono

riportate nella Tabella 2.3.3 insieme al criterio operativo con cui possono essere verificate sul log e al principio normativo di riferimento discusso nei paragrafi precedenti. La verifica diretta sul sotto-log di 5.315 casi completi mostra che 506 pratiche, pari al 9,52 per cento del totale, violano almeno una di queste sei regole, un ordine di grandezza coerente con quanto anticipato nella documentazione del dataset (circa un caso su dieci). Le due regole a componente temporale – V2, il preavviso fra costituzione in mora e richiesta di sospensione, e V7, la riattivazione della fornitura dopo l'incasso – generano da sole la quota maggioritaria delle violazioni (rispettivamente il 3,73 e il 3,44 per cento dei casi), mentre le restanti quattro regole presentano tassi singolarmente più contenuti, compresi fra lo 0,3 e il 2,1 per cento. Si tratta comunque di una quota di non conformità ampia a sufficienza da rendere l'esercizio di conformance checking non un controllo puramente formale, ma un'analisi in grado di restituire un quadro quantitativo del rischio regolatorio a cui l'azienda è esposta, secondo il percorso che sarà sviluppato nel capitolo 6.

Codice	Regola	Verifica sul log	Base normativa
V1	La sospensione richiede la preventiva costituzione in mora	Richiesta Sospensione presente senza una Costituzione in Mora precedente nello stesso caso	TIMOE, artt. 3-4
V2	Preavviso minimo fra costituzione in mora e richiesta di sospensione	Intervallo inferiore a venti giorni solari più tre giorni lavorativi fra le due attività	TIMOE, art. 4 (semplificata nel dataset)
V3	Verifica obbligatoria della non disalimentabilità	Sospensione Fornitura eseguita senza la Verifica Cliente Non Disalimentabile a monte	TIMOE, art. 23
V4	Nessuna sospensione con reclamo pendente	Sospensione Fornitura compresa fra Gestione Reclamo e Chiusura Reclamo dello stesso caso	Tutela procedurale del cliente
V6	Tutela dei clienti con bonus sociale o non disalimentabili	Sospensione Fornitura su casi con bonus—sociale o cliente—non—disalimentabile pari a SI	TIMOE, art. 23; TIBEG
V7	Riattivazione tempestiva dopo il pagamento	Oltre due giorni feriali fra Verifica Incasso e Riattivazione Fornitura	TIMOE, art. 7 (richiesta al distributore entro tre giorni lavorativi)

Tabella 2.3.3 - Regole di conformità operazionalizzate sul log e relativa base normativa.

La lettura della tabella suggerisce alcune osservazioni utili a orientare l'analisi dei capitoli successivi. Le regole V1, V2 e V3 intervengono sulla stessa sequenza causale – mora, preavviso, verifica preventiva – e la loro violazione congiunta su uno stesso caso segnalerebbe una sospensione eseguita in modo sostanzialmente irregolare rispetto all'intero impianto procedurale. La regola V4 introduce invece una condizione di sospensione temporanea del processo di recupero in presenza di un contenzioso aperto sulla fatturazione, a tutela del principio per cui il cliente non deve subire conseguenze da un importo che sta contestando.

La regola V6 è quella a maggior rilevanza reputazionale e regolatoria, poiché riguarda le categorie di clienti per cui la tutela è più stringente in assoluto; una sua violazione, per quanto numericamente rara, rappresenta il caso di non conformità più critico da profilare per segmento, area e periodo temporale nell'analisi di conformance checking (cfr. § 6.5 del piano delle analisi). La regola V7, infine, sposta l'attenzione dalla fase di sospensione a quella di riattivazione, ricordando che la tutela normativa del cliente non si esaurisce con l'incasso del credito, ma prosegue fino al ripristino della fornitura.

2.4 L'ecosistema aziendale: sistemi informatici, Back Office, Credit Management e Distributori

2.4.1 L'infrastruttura informativa e l'automazione dei processi

Il processo di credit management non è eseguito da un unico sistema informativo, ma dall'interazione fra componenti automatizzate e intervento umano distribuito su più unità organizzative. Due delle diciannove attività del processo – l'emissione della fattura e la rilevazione dell'insoluto – sono generate integralmente dal sistema di billing (risorsa SYS-BILLING), mentre la verifica dell'incasso e la chiusura automatica della pratica sono affidate al sistema di credit management (SYS-CREDIT).

Questi due sistemi operano tipicamente tramite job notturni, eseguiti al di fuori del consueto orario d'ufficio: una circostanza che, come segnalato nella documentazione a corredo del dataset, ha una ricaduta metodologica diretta sull'analisi delle prestazioni, poiché i timestamp di queste attività non sono direttamente confrontabili con quelli delle attività svolte da risorse umane senza una preventiva distinzione fra tempo di attesa e tempo di lavorazione effettiva (cfr. § 6.4 del piano delle analisi).

Attorno a questo nucleo automatizzato si sviluppa un'infrastruttura multicanale per la comunicazione con il cliente, che l'attributo canale del log registra puntualmente per ciascuna attività: posta elettronica certificata, raccomandata con avviso di ricevimento, applicazione mobile, SMS, posta elettronica ordinaria, contatto telefonico, sportello fisico.

Ci sono inoltre canali di natura più propriamente interna quali il sistema stesso, l'interazione con l'ufficio legale o con il tribunale, l'intervento sul campo e lo scambio informativo con il distributore attraverso il Sistema Informativo Integrato. La

compresenza di canali cartacei tradizionali – raccomandata, sportello – e di canali digitali – app, SMS, posta elettronica – riflette una fase di transizione dell'infrastruttura informativa aziendale che, come discusso nel piano delle analisi, subisce un'accelerazione decisiva a partire dal 1° aprile 2025 con il progetto di digitalizzazione del credit management: un intervento che ridisegna i canali di contatto con il cliente e introduce la rateizzazione self-service a valutazione semi-automatica, riducendo il peso relativo del contatto telefonico

2.4.2 Le unità organizzative interne: Back Office, Call Center, Credit Management, Ufficio Reclami e Legale

Al di là della componente automatizzata, il processo coinvolge cinque unità organizzative composte da risorse umane, per un totale di ventuno operatori nominali distribuiti in modo non uniforme lungo le diverse fasi del processo, sintetizzati nella Tabella 2.4.2.

Unità organizzativa	Risorse	Ruolo nel processo
Back Office Fatturazione	BOF-01 – BOF-04	Gestisce i solleciti bonari cartacei e le rettifiche di fattura conseguenti a un reclamo accolto
Call Center Outbound	CCO-01 – CCO-06	Gestisce il contatto diretto con il cliente moroso; l'organico si amplia con l'ingresso in servizio della risorsa CCO-06 a gennaio 2025
Ufficio Reclami	REC-01 – REC-03	Gestisce e chiude i reclami dei clienti, generando il ciclo di rilavorazione con il Back Office Fatturazione quando è necessaria una rettifica
Credit Management	CRM-01 – CRM-05	Unità cardine del processo: verifica la non disalimentabilità, costituisce in mora, valuta le rateizzazioni e richiede la sospensione al distributore; presenta i carichi di lavoro meno uniformi fra le risorse
Legale e Recupero Crediti	LEG-01 – LEG-03	Gestisce la fase finale del processo – risoluzione contrattuale, affido a recupero, decreto ingiuntivo – a volumi contenuti ma a costo unitario elevato

Tabella 2.4.2 – Unità organizzative interne coinvolte nel processo e relativo ruolo.

La lettura organizzativa del processo mette in luce due fenomeni che orienteranno l'analisi delle prestazioni condotta nei capitoli successivi. Il primo riguarda la distribuzione non uniforme del carico di lavoro all'interno del Credit Management, l'unità che presidia il maggior numero di attività del processo e che costituisce quindi il candidato naturale per un'analisi per risorsa, oltre che per ruolo.

Il secondo riguarda il ciclo di rilavorazione fra Ufficio Reclami e Back Office Fatturazione: ogni volta che un reclamo viene accolto e richiede una rettifica della fattura, il caso passa dall'uno all'altro ufficio prima di poter proseguire, generando un pattern di ping-pong organizzativo che la matrice di passaggio del lavoro fra unità – prevista fra gli strumenti dell'analisi delle prestazioni – permetterà di quantificare in modo puntuale, distinguendolo dal fisiologico avanzamento sequenziale del processo.

Sul piano economico, la concentrazione dei volumi nelle fasi iniziali del processo – fatturazione, sollecito, eventuale reclamo – e la loro progressiva rarefazione nelle fasi successive, fino ai volumi contenuti della fase legale, riproduce un pattern tipico dei processi di recupero crediti: un imbuto in cui ogni fase filtra una quota di casi verso la chiusura, lasciando alla fase successiva un volume via via minore ma un costo unitario di gestione via via crescente. È un pattern che anticipa direttamente l'oggetto della valutazione economica prevista come capitolo conclusivo della parte applicativa, dedicata al confronto fra il costo di gestione di ciascun percorso e l'importo effettivamente recuperato.

2.4.3 Il distributore come attore esterno e il Sistema Informativo Integrato

L'ultimo tassello dell'ecosistema aziendale è, per definizione, esterno all'azienda venditrice: il distributore locale, il soggetto regolato a cui la normativa italiana affida in via esclusiva l'esecuzione materiale della sospensione e della riattivazione della fornitura sulla rete. Questa separazione fra venditore e distributore non è una scelta organizzativa contingente, ma discende dalla struttura stessa del mercato energetico italiano, in cui l'attività di vendita al cliente finale e l'attività di distribuzione dell'energia sulla rete fisica sono affidate a soggetti distinti e regolati separatamente. Il venditore intrattiene il rapporto commerciale con il cliente, ma non ha alcun potere di intervento diretto sulla rete di distribuzione, sulla quale opera in via esclusiva il distributore competente per l'area geografica del punto di prelievo.

Nel log di eventi analizzato compaiono cinque distributori distinti, ciascuno competente per una macroarea geografica: coerentemente con gli operatori realmente attivi sul territorio italiano, il dataset include tra gli altri i codici DIS-EDISTRIBUZIONE e DIS-ARETI, riconducibili ai principali distributori nazionali e dell'area di Roma, insieme a distributori di area lombarda ed emiliana e a un ulteriore operatore minore.

Le richieste di sospensione e di riattivazione fra venditore e distributore transitano, dal punto di vista procedurale, attraverso il Sistema Informativo Integrato (SII): una piattaforma di interoperabilità, gestita da Acquirente Unico S.p.A., su cui la regolazione ha progressivamente centralizzato lo scambio delle comunicazioni relative a switching, sospensioni e riattivazioni per morosità fra i diversi operatori del mercato retail. Nel log, questo passaggio è reso esplicito dal valore SII assegnato all'attributo canale in corrispondenza delle attività eseguite dal distributore, a conferma della coerenza fra la modellazione del dataset e l'architettura reale del mercato.

Il coinvolgimento del distributore introduce nel processo una discontinuità organizzativa rilevante ai fini dell'analisi delle prestazioni. A differenza delle unità interne discusse nel

paragrafo 2.4.2, i tempi di esecuzione del distributore non sono governabili dal venditore. Infatti, come segnalato nella documentazione a corredo del log, i cinque distributori presenti nel dataset presentano tempi di esecuzione sistematicamente diversi fra loro, configurando un collo di bottiglia che l'azienda venditrice subisce senza poter direttamente controllare.

Si tratta di una distinzione metodologica che dovrà essere mantenuta esplicita lungo tutta l'analisi delle prestazioni: un ritardo nella sospensione o nella riattivazione della fornitura imputabile al distributore non può essere trattato, né in sede di diagnosi né in sede di raccomandazione gestionale, alla stregua di un ritardo generato da un'unità interna dell'azienda, poiché le leve di intervento disponibili – e la stessa attribuzione di responsabilità, anche ai fini della regola di conformità V7 – sono radicalmente diverse nei due casi.

Nel loro insieme, il ciclo di gestione del credito, il quadro normativo a tutela del cliente e l'ecosistema aziendale appena descritti definiscono il perimetro entro cui si colloca la parte sperimentale della tesi. I capitoli successivi utilizzeranno questi elementi come chiave di lettura per la preparazione del dato, la discovery del processo effettivo, l'analisi delle prestazioni, il conformance checking rispetto alle regole V1-V7 e l'analisi del cambiamento organizzativo introdotto dal progetto di digitalizzazione dell'aprile 2025, secondo il percorso delineato nel piano delle analisi.

Capitolo 3

3.1 Metodologia e preparazione del dato

Il capitolo precedente ha ricostruito il contesto applicativo della tesi: il ciclo di gestione del credito di un venditore di energia elettrica e gas, il quadro normativo che lo vincola e l'ecosistema aziendale che lo esegue. Il presente capitolo affronta il primo passo operativo della parte sperimentale, corrispondente al punto 6.1 del piano delle analisi predisposto a corredo dell'event log: costruire un log affidabile e conoscerne i limiti prima di trarne conclusioni.

A tal fine il capitolo presenta, nell'ordine, lo strumento software utilizzato per l'analisi (§ 3.2), la struttura del file di log fornito e le modalità con cui i suoi attributi sono stati mappati sugli oggetti richiesti dallo strumento (§ 3.3), e infine le statistiche descrittive del log e il trattamento del fenomeno del troncamento a destra (§ 3.4), quest'ultimo condotto attraverso il confronto sistematico fra il file grezzo e gli estratti prodotti dalla piattaforma di analisi.

3.2 Presentazione della piattaforma Apromore

3.2.1 Origini accademiche e architettura della piattaforma

Apromore nasce come progetto di ricerca accademico, descritto per la prima volta da La Rosa, Reijers, van der Aalst, Dijkman, Mendling, Dumas e Garcia-Bañuelos (2011) come un repository avanzato di modelli di processo (Advanced Process Model Repository), concepito per superare i limiti degli strumenti allora disponibili nella gestione, nel confronto e nell'analisi di grandi collezioni di modelli BPMN.

A partire da questo nucleo originario, la piattaforma si è progressivamente evoluta in una soluzione di process intelligence a impronta commerciale, che integra in un unico ambiente cloud, ad architettura no-code, le funzionalità di process discovery, conformance checking, analisi delle prestazioni, simulazione e monitoraggio predittivo dei processi. Per gli scopi della presente tesi, condotta con licenza accademica, sono rilevanti in particolare tre moduli: il modulo di discovery (Apromore Discoverer), il modulo di filtraggio e segmentazione del log, e il modulo di dashboard statistica utilizzato in questo capitolo per la caratterizzazione preliminare del dato.

3.2.2 Il modulo di Process Discovery: l'algoritmo Split Miner

Il motore di discovery di Apromore si basa sull'algoritmo Split Miner, proposto da Augusto, Conforti, Dumas, La Rosa e Maggi (2018) come tecnica per la scoperta di modelli di processo in notazione BPMN accurati e privi di deadlock strutturali a partire da un log di eventi.

L'algoritmo procede per fasi successive: dapprima ricostruisce il grafo delle relazioni di precedenza diretta fra le attività (directly-follows graph) e individua i cicli di ripetizione presenti nel comportamento osservato; successivamente rileva le relazioni di concorrenza fra attività che possono essere eseguite in ordine variabile; filtra quindi il grafo per

rimuovere le connessioni meno frequenti, isolando il comportamento predominante da quello episodico o rumoroso; infine individua i gateway di diramazione e di ricongiungimento del flusso, restituendo un modello BPMN completo.

Una versione successiva dell'algoritmo, Split Miner 2.0, estende questa procedura sfruttando congiuntamente i timestamp di inizio e fine di ciascuna attività — entrambi disponibili nel log oggetto della tesi — per una rilevazione più accurata della concorrenza. Il ricorso a un algoritmo di questo tipo sarà oggetto specifico del capitolo dedicato alla discovery del processo (cfr. § 6.3 del piano delle analisi); in questa sede è sufficiente segnalare che l'accuratezza del modello scoperto dipende in modo diretto dalla qualità e dalla completezza del log in ingresso, ciò che motiva l'attenzione riservata alla preparazione del dato nel presente capitolo.

3.2.3 Il modulo di dashboard statistica

Prima di procedere alla discovery vera e propria, Apromore mette a disposizione un modulo di dashboard che restituisce, senza necessità di configurazione, un insieme di statistiche descrittive del log caricato: statistiche di processo aggregate (numero di casi, di varianti, di istanze di attività, di attività distinte, di risorse, e relativa distribuzione delle durate), e un insieme di grafici a livello di attività e di risorsa che ne misurano la frequenza e la durata secondo diverse chiavi di lettura — frequenza per caso, durata media, minima e massima, frequenza minima e massima di occorrenza all'interno di un singolo caso.

È precisamente questo modulo che è stato impiegato per produrre le statistiche discusse nel paragrafo 3.4, ed è coerente con la funzione che il piano delle analisi assegna a questa fase: costruire un log affidabile e conoscerne i limiti prima di procedere alla discovery e alle analisi successive.

3.3 Estrazione e struttura del file "event_log_morosita_utility.csv"

3.3.1 Origine e formato del file

Il file event_log_morosita_utility.csv è un event log sintetico, costruito a fini didattici per riprodurre in modo realistico il comportamento del processo di gestione della morosità descritto nel capitolo 2, ma privo di dati aziendali reali. Il file è organizzato secondo la logica tabellare tipica dei log di eventi da destinare al Process Mining: ogni riga rappresenta un'istanza di attività, ossia l'esecuzione di una specifica fase del processo (§ 2.2.2) all'interno di uno specifico caso, mentre le colonne ne descrivono gli attributi.

Il formato adottato per i timestamp è aaaa-MM-gg HH:mm:ss (ad esempio 2024-01-08 02:09:50), coerente con lo standard richiesto in fase di importazione dai principali strumenti di Process Mining, incluso Apromore. Il file conta, nella sua versione integrale, 19 colonne e 64.700 righe, corrispondenti ad altrettante istanze di attività distribuite su 5.400 casi distinti, identificati dall'attributo case_id secondo la convenzione PRAT-aaaa-numero (ad esempio PRAT-2024-00002).

3.3.2 Le 19 colonne del log: attributi di processo e attributi di contesto

Le colonne del file possono essere ripartite in due gruppi funzionalmente distinti. Il primo gruppo, riportato nella parte superiore della Tabella 3.3.2, comprende gli attributi che costituiscono il nucleo minimo richiesto per qualunque analisi di Process Mining — l'identificativo del caso, il nome dell'attività, i timestamp di inizio e fine, la risorsa esecutrice e l'unità organizzativa di appartenenza — ai quali si affiancano il canale di comunicazione utilizzato e il costo unitario dell'attività, attributo quest'ultimo che alimenterà la valutazione economica prevista nella parte conclusiva della tesi.

Il secondo gruppo, riportato nella parte inferiore della tabella, comprende undici attributi di caso — costanti, cioè, per tutte le righe che condividono lo stesso case_id — che descrivono le caratteristiche del cliente e della pratica: la commodity fornita, il segmento di clientela, l'area geografica e il distributore competente, l'importo e la fascia dell'insoluto, la condizione di bonus sociale e di cliente non disalimentabile discusse nel paragrafo 2.3.2, l'anzianità del rapporto contrattuale, la presenza di morosità pregresse (cliente recidivo) e l'esito finale della pratica.

Colonna	Tipo di attributo	Contenuto
Case_id	Identificativo di caso	Codice della pratica (PRAT-aaaa-numero)
activity	Nucleo minimo (control-flow)	Nome della fase eseguita, fra le 19 attività del processo
start_timestamp / end_timestamp	Nucleo minimo (temporale)	Inizio e fine della lavorazione dell'attività
resource	Nucleo minimo (organizzativo)	Risorsa nominale che ha eseguito l'attività
role	Attributo di evento	Unità organizzativa di appartenenza della risorsa
canale	Attributo di evento	Canale di comunicazione o di esecuzione (PEC, Raccomandata, App, SMS, Telefono, Sportello, SII, ...)
Costo_attivita	Attributo di evento (costo)	Costo unitario dell'attività in euro
commodity	Attributo di caso	Energia Elettrica / Gas / Dual Fuel
segmento	Attributo di caso	Domestico / Micro-business / Business

area / distributore	Attributo di caso	Macro-area geografica e distributore competente
Importo_insoluto / fascia_importo	Attributo di caso	Importo a credito in euro e relativa classe (A-E)
Bonus_sociale / cliente_non_disalimentabile	Attributo di caso	Condizioni di tutela rafforzata (SI/NO)
Anzianita_cliente / cliente_recidivo	Attributo di caso	Fascia di anzianità del rapporto e presenza di morosità pregresse
esito_finale	Attributo di caso	Esito della pratica, su un insieme di dieci valori possibili

Tabella 3.3.2 – Le 19 colonne del file event_log_morosita_utility.csv, ripartite fra il nucleo minimo e attributi di contesto.

A titolo esemplificativo, la prima riga utile del file registra l'emissione, l'8 gennaio 2024, di una fattura per un cliente domestico del segmento elettrico residente nell'area Isole, servito dal distributore DIS-SORGENIA-RETE, con un insoluto di 85,39 euro rientrante nella fascia inferiore ai 100 euro, privo di bonus sociale e non appartenente alla categoria dei clienti non disalimentabili, con un rapporto contrattuale compreso fra uno e tre anni: la pratica, secondo l'attributo esito_finale, si chiuderà con un incasso ottenuto dopo la costituzione in mora.

Un singolo record di questo tipo illustra bene la doppia natura del file: da un lato traccia puntualmente l'esecuzione di un'attività, dall'altro veicola, ripetuto identico su ogni riga dello stesso caso, l'intero corredo di attributi che permetterà, nei capitoli successivi, di segmentare l'analisi per tipologia di cliente, di credito e di area geografica.

3.3.3 Mappatura degli attributi minimi di Apromore

In fase di importazione, le prime cinque colonne del file sono state mappate sugli oggetti minimi richiesti da Apromore per la costruzione del log — Case ID, Activity, Start Timestamp, End Timestamp e Resource, coerenti con gli attributi obbligatori dello standard XES discussi nel paragrafo 1.4.2 — mentre l'attributo costo_attivita è stato mappato sul campo Cost, riconosciuto nativamente dalla piattaforma ai fini del calcolo delle metriche economiche. I restanti dodici attributi, non avendo un ruolo standard predefinito, sono stati importati come attributi di evento o di caso a seconda della loro natura (rispettivamente costanti o variabili all'interno dello stesso case_id), rendendoli disponibili come chiavi di filtro e di segmentazione in tutte le analisi successive, dalla discovery per sottopopolazioni di casi al conformance checking profilato per segmento, area e periodo previsto al punto 6.4 del piano delle analisi.

3.4 Qualità del dato, statistiche descrittive e gestione del troncamento a destra

3.4.1 Il log grezzo: dimensione e copertura temporale

Il file fornito, nella sua interezza, registra 64.700 istanze di attività distribuite su 5.400 casi distinti e 19 attività, con una copertura temporale che si estende dall'8 gennaio 2024 — data del primo timestamp registrato — al 30 giugno 2026, data in cui l'estrazione del log è stata interrotta. Ogni caso presenta in media 11,98 attività (mediana 11), con un minimo di 5 e un massimo di 37 istanze per singolo case_id: una prima indicazione, di per sé, della variabilità dei percorsi discussa nel paragrafo 2.2.3, poiché anche la sola lunghezza delle tracce copre un intervallo molto ampio prima ancora di considerare quali attività siano effettivamente coinvolte.

3.4.2 Il sotto-log analizzato in Apromore: statistiche di sintesi

Le dashboard prodotte in Apromore restituiscono, per il log caricato in piattaforma, un totale di 5.315 casi e 63.151 istanze di attività, un valore lievemente inferiore a quello del file grezzo per ragioni discusse nel paragrafo 3.3.3. Le statistiche di sintesi sono riepilogate nella Tabella 3.4.2.

Indicatore	Valore
Casi	5.315
Varianti di caso	1.597
Istanze di attività	63.151
Attività distinte	19
Risorse	28
Durata minima del caso	3,57 settimane
Durata mediana del caso	2,43 mesi
Durata media del caso	3,8 mesi
Durata massima del caso	2,2 anni
Frequenza media per attività	3.323,74 istanze (dev. std. 3.070,22)
Durata media per attività (tempo di lavorazione)	11,4 minuti (dev. std. 14,56 minuti)

Tabella 3.4.2 — Statistiche di sintesi del sotto-log analizzato in Apromore (dashboard Overview e Activities).

Alcuni di questi valori meritano un commento puntuale. In primo luogo, la frequenza media per attività (3.323,74 istanze) corrisponde esattamente al rapporto fra le 63.151 istanze totali e le 19 attività distinte, a conferma della coerenza interna delle statistiche restituite dalla piattaforma. In secondo luogo, il rapporto fra il numero di varianti di caso

(1.597) e il numero di casi (5.315) — pari a circa il 30 per cento — segnala un livello di variabilità dei percorsi tutt'altro che trascurabile: in media meno di quattro casi condividono la medesima sequenza di attività, e la distribuzione delle varianti presenta una coda lunga tipica dei processi con elevata variabilità, con le prime due varianti che coprono da sole circa il 13 per cento dei casi mentre la maggioranza dei percorsi osservati compare una sola volta o poche volte nell'intero log.

Questa informazione anticipa un tema che sarà centrale nella discovery del processo (§ 6.2 del piano delle analisi): un algoritmo come Split Miner dovrà necessariamente filtrare una quota di comportamento infrequente per restituire un modello leggibile, e la soglia di filtraggio adottata dovrà essere motivata proprio alla luce di questa distribuzione.

In terzo luogo, il forte scarto fra la durata media per attività (11,4 minuti, ossia il tempo di lavorazione effettivo registrato fra start_timestamp e end_timestamp) e la durata media del caso (3,8 mesi) conferma quanto anticipato nella documentazione a corredo del log: il tempo complessivo di attraversamento del processo è dominato dalle attese fra un'attività e la successiva, non dal tempo di lavorazione delle singole attività. È una conferma quantitativa, già a questo stadio preliminare, della necessità — prevista al punto 6.3 del piano delle analisi — di separare sistematicamente tempo di attesa e tempo di lavorazione per ciascuna transizione, anziché limitarsi a un'analisi aggregata della durata dei casi.

Infine, i grafici di dettaglio per attività resi disponibili dalla dashboard Apromore permettono una prima lettura dei fenomeni di rework anticipati nel paragrafo 2.2.3: l'indicatore di frequenza massima per caso mostra come l'attività Verifica Incasso possa ripetersi fino a dodici volte all'interno di uno stesso caso, Gestione Reclamo e Sollecito Bonario fino a sei volte, Contatto Outbound Cliente fino a quattro, mentre Valutazione Piano di Rateizzazione e Rettifica Fattura possono ripetersi fino a tre volte — a fronte di una frequenza minima pari a uno per tutte le attività strutturalmente uniche del processo, quali Emissione Fattura, Rilevazione Insoluto, Sollecito Bonario e Chiusura Pratica.

Sul piano delle risorse, la medesima dashboard mostra come le due componenti automatizzate SYS-BILLING e SYS-CREDIT concentrino, da sole, oltre metà delle istanze di attività complessive (rispettivamente il 24,19 e il 29,25 per cento), mentre il Credit Management — in particolare le risorse CRM-01 e CRM-02 — assorbe la quota più rilevante fra le unità composte da personale, coerentemente con il ruolo di cardine del processo attribuito a questa unità nel paragrafo 2.4.2.

3.4.3 Identificazione dei casi troncati dalla finestra di osservazione

Il punto 6.1 del piano delle analisi richiede esplicitamente l'identificazione dei casi troncati dalla finestra di osservazione, tema centrale di questo paragrafo. Il log grezzo contiene, fra i dieci valori dell'attributo esito_finale, la categoria. In corso (caso troncato): un'etichetta che segnala, per costruzione, le pratiche ancora aperte al momento dell'estrazione del log, per le quali il processo non si è concluso entro il 30 giugno 2026. Il confronto diretto fra il file grezzo e gli esiti finali codificati sui singoli casi mostra che

questa categoria interessa 85 casi su 5.400, pari all'1,6 per cento del totale, per un ammontare complessivo di 1.549 istanze di attività.

L'analisi di queste 85 pratiche conferma in modo netto la natura di troncamento a destra del fenomeno, distinguendolo da una semplice anomalia procedurale. In primo luogo, l'ultima attività registrata per questi casi non è mai Chiusura Pratica: 83 pratiche su 85 si arrestano sull'attività Verifica Incasso, una sull'attività Sollecito Bonario e una sull'attività Valutazione Piano di Rateizzazione, a conferma che si tratta di processi interrotti a metà del loro corso naturale e non di percorsi alternativi di chiusura non ancora mappati.

In secondo luogo, i timestamp dell'ultimo evento registrato per questi casi si concentrano nella parte finale della finestra di osservazione, fra il 16 agosto 2025 e il 30 giugno 2026 — quest'ultima data coincidente esattamente con l'estremo superiore dell'intero log — ciò che esclude la spiegazione alternativa di un'interruzione anomala del processo distribuita casualmente nel tempo, e conferma piuttosto che si tratta di casi semplicemente ancora in corso al momento dell'estrazione.

Specularmente, la totalità delle restanti 5.315 pratiche (100 per cento) termina con l'attività Chiusura Pratica: i due criteri di identificazione dei casi completi — il valore dell'attributo esito_finale diverso da "In corso (caso troncato)" e la presenza di Chiusura Pratica come ultima attività della traccia — risultano quindi perfettamente equivalenti su questo log, e il numero di casi completi così individuato (5.315) coincide esattamente con quello restituito dalle dashboard Apromore analizzate nel paragrafo 3.4.2. Questo risultato spiega anche perché le due dashboard fornite a corredo di questo capitolo — quella prodotta sul log "event_log_morosita_utility" e quella, successiva, prodotta sul log "event_log_morosita_utility_filtered" ottenuto restringendo l'analisi ai soli casi che terminano con Chiusura Pratica — restituiscano statistiche identiche: il filtro applicato in un secondo momento non ha trovato ulteriori casi da rimuovere perché il log caricato in Apromore già escludeva, fin dal primo caricamento, gli 85 casi troncati.

Ai fini della tracciabilità metodologica richiesta dal piano delle analisi, è opportuno segnalare questo aspetto in modo esplicito piuttosto che lasciare che le due dashboard, apparentemente ridondanti, restino prive di spiegazione: l'evidenza disponibile mostra che il criterio di filtraggio adottato è corretto e ben posto, e che la sua applicazione sul log completo (5.400 casi) produce esattamente il sotto-log di 5.315 casi già osservato, un riscontro che vale come verifica incrociata dell'intera procedura più che come passaggio ulteriore da ripetere.

	Log grezzo	Sotto-log dei casi completi
Casi	5.400	5.315

Istanze di attività	64.700	63.151
Ultima attività di ciascun caso	Eterogenea (Chiusura Pratica per i casi completi; Verifica Incasso, Sollecito Bonario o Valutazione Piano di Rateizzazione per gli 85 casi troncati)	Sempre Chiusura Pratica (100% dei casi)
Criterio di identificazione	—	esito_finale diverso da "In corso (caso troncato)" — equivalente a: ultima attività = Chiusura Pratica

Tabella 3.4.3 - Confronto fra il log grezzo e il sotto-log dei casi completi ottenuto per esclusione del troncamento a destra.

3.4.4 Scelte di trattamento del dato e implicazioni per i capitoli successivi

Sulla base delle evidenze raccolte, il sotto-log dei 5.315 casi che si concludono con Chiusura Pratica è assunto come popolazione di riferimento per le analisi di discovery, di performance e di conformance checking sviluppate nei capitoli successivi, poiché include esclusivamente pratiche di cui è osservabile l'intero ciclo di vita. Gli 85 casi troncati non vengono tuttavia scartati definitivamente: trattandosi di un fenomeno fisiologico in qualunque log estratto su una finestra di osservazione finita — e non di un errore di estrazione — essi verranno ripresi, ove utile, come popolazione a sé stante per le analisi di carico di lavoro corrente (ad esempio nella lettura del grafico Work-in-Progress restituito dalla medesima dashboard), mentre saranno sistematicamente esclusi da qualunque metrica di durata complessiva del caso, la cui misurazione su una traccia interrotta produrrebbe per costruzione una sottostima sistematica del tempo di attraversamento reale.

Questa scelta di trattamento del dato viene qui dichiarata esplicitamente, in coerenza con l'indicazione del piano delle analisi secondo cui la preparazione del dato deve tradursi in una scelta motivata dei filtri applicati e nella loro documentazione. Il capitolo di discovery del processo (§ 6.2 del piano) partirà dunque dal sotto-log di 5.315 casi completi qui definito, mentre l'eventuale confronto fra le pratiche concluse e quelle ancora aperte — utile, ad esempio, per verificare se i casi più recenti presentino un mix di percorsi sistematicamente diverso da quelli più risalenti, anticipando così il tema del concept drift trattato al punto 6.5 del piano — sarà sviluppato separatamente, senza mescolare le due popolazioni all'interno delle stesse metriche di sintesi.

Capitolo 4

4.1 Process Discovery: ricostruzione del processo effettivo e confronto con il modello atteso

Il capitolo precedente ha definito il sotto-log di riferimento per la parte sperimentale della tesi: 5.315 casi completi, depurati dai troncamenti a destra, su cui è possibile condurre in sicurezza qualunque analisi di durata o di sequenza. Questo capitolo affronta il primo impiego analitico di tale sotto-log: la process discovery, ossia la ricostruzione automatica del modello di processo effettivamente eseguito a partire dal solo comportamento osservato nel log, e il suo confronto con il processo descritto in termini normativi e procedurali nel capitolo 2.

La discovery è condotta con il modulo Apromore Discoverer introdotto nel paragrafo 3.1.2, basato sull'algoritmo Split Miner (Augusto et al., 2018); a supporto della discussione qualitativa dei modelli esportati dalla piattaforma, il capitolo presenta anche un'analisi quantitativa indipendente, condotta ricostruendo direttamente dal sotto-log il grafo delle relazioni dirette fra le attività (directly-follows graph). Questa duplice prospettiva – il modello scoperto da Apromore e la sua verifica analitica sul dato grezzo – consente non solo di descrivere il processo così come emerge dal log, ma anche di quantificare con precisione la fitness del modello e il compromesso fra leggibilità e fedeltà che ogni discovery comporta, temi al centro dei paragrafi 4.4 e 4.6.

4.2 Discovery del processo tramite Apromore Discoverer

4.2.1 Taratura dei parametri dell'algoritmo Split Miner (Epsilon e Noise Threshold)

Come richiamato nel paragrafo 3.2.2, Split Miner espone formalmente due iperparametri: una soglia di filtraggio del grafo delle relazioni dirette, indicata in letteratura con epsilon (ε), e una soglia di rilevazione della concorrenza, indicata con eta (η) (Augusto et al., 2018). Nell'interfaccia di Apromore Discoverer questi due parametri non sono esposti con la loro denominazione algoritmica originaria, ma tradotti in tre cursori più intuitivi – Nodes, Arcs e Parallelism – che ne costituiscono l'equivalente operativo: il cursore Arcs corrisponde a epsilon, la soglia di rumore che determina quali connessioni a bassa frequenza fra attività vengono scartate dal grafo prima della sua conversione in BPMN; il cursore Parallelism corrisponde a eta, la soglia che stabilisce quando due attività osservate in ordine variabile debbano essere interpretate come concorrenti anziché come alternative in sequenza; il cursore Nodes, infine, opera un filtraggio analogo ma a livello delle singole attività anziché delle transizioni fra di esse.

Nel corso dell'analisi documentata in questo capitolo, i modelli sono stati generati con Nodes impostato al 100% – una scelta pressoché ininfluente in questo caso, dato che il

processo conta solo 19 attività distinte, tutte con frequenza elevata (§ 3.4.2) e quindi nessuna candidata alla rimozione – Arcs impostato al valore 10 e Parallelism al valore 40.

Il pannello riassuntivo della piattaforma, riportato per l'estrazione BPMNS analizzata, indica al 100% i quattro indicatori Cases, Activity instances, Activity e Case variants (rispettivamente 5.315, 63.151, 19 e 1.597, tutti pari al totale del sotto-log). Queste percentuali non misurano quanto del comportamento osservato il grafo semplificato sia in grado di riprodurre visivamente: descrivono piuttosto la copertura del log su cui le statistiche del pannello sono calcolate, ossia il fatto che nessun caso, variante, istanza o attività risulti escluso dall'analisi per effetto di un filtro sui dati a monte (temporale o su un attributo di caso).

I cursori Arcs, Nodes e Parallelism intervengono infatti a valle, sulla sola rappresentazione grafica delle relazioni fra le attività, senza restringere la popolazione conteggiata nel pannello. È in questa distinzione che si colloca il valore di sintesi pari al 30% visualizzato fra gli indicatori di Cases e Case variants: un dato che la piattaforma non etichetta esplicitamente, ma che, per posizione e formato, appare riconducibile a un indice di semplificazione del grafo rispetto alla variabilità completa del comportamento osservato, l'unica cifra di questo pannello, cioè, che riguarda davvero la fedeltà del modello anziché la sola copertura del log.

Questo valore, come si vedrà nel paragrafo 4.4.1, è coerente per ordine di grandezza con la quota di casi effettivamente riproducibile senza deviazioni dal modello semplificato, quantificata in modo indipendente in questo capitolo.

4.2.2 Generazione dei modelli BPMN a differenti livelli di astrazione e motivazione della soglia ottimale

Il cursore Nodes, impostato al 100% nell'analisi di dettaglio svolta nel resto del capitolo, è stato esplorato anche nei suoi valori intermedi per apprezzare l'effetto del filtraggio delle singole attività (distinto da quello sulle transizioni operato dal cursore Arcs) sulla struttura del modello scoperto. Mantenendo costanti Arcs=10 e Parallelism=40, tre esportazioni della piattaforma, denominate BPMNS, BPMNI e BPMNC, corrispondono rispettivamente a Nodes=0, Nodes=45 e Nodes=100, e restituiscono tre modelli di complessità crescente, riportati nella Tabella 4.2.2a.

Configurazione	Nodes	Attività visibili	Attività aggiuntive incluse
BPMNS	0	5	Nessuna oltre a Emissione Fattura, Rilevazione Insoluto, Sollecito Bonario, Verifica Incasso, Chiusura Pratica
BPMNI	45	7	Contatto Outbound Cliente, Costituzione in Mora
BPMNC	100	19	Tutte, incluse Sospensione Fornitura, Verifica Cliente Non Disalimentabile, Riattivazione Fornitura, Gestione Reclamo, fase legale

Tabella 4.2.2a – Le tre configurazioni del cursore Nodes esplorate a parità di Arcs=10 e Parallelism=40, e le attività che ciascuna soglia introduce rispetto alla precedente.

A Nodes=0 sopravvivono unicamente le cinque attività a maggior frequenza assoluta in tutto il log: il modello riproduce fedelmente l'ingresso nel processo (Emissione Fattura, Rilevazione Insoluto, Sollecito Bonario) e l'uscita da esso (Verifica Incasso, Chiusura Pratica), ma comprime nell'unico arco Sollecito Bonario → Verifica Incasso (che copre 4.806 dei 5.315 casi del sotto-log, il 90,4 per cento) l'intera fase intermedia del processo, mora e sospensione comprese: uno scheletro utile a comunicare in un solo sguardo che cosa entra ed esce dal processo, ma privo di qualunque informazione sul suo funzionamento interno.



Figura 4.2.1 – Modello BPMNS, nodes 0 – arcs 10 – parallelism 40

A Nodes=45 emergono le prime due attività della fase regolata, Contatto Outbound Cliente e Costituzione in Mora, segno che la loro frequenza le colloca appena sopra la soglia di filtraggio, ma non le attività a valle di quest'ultima (sospensione, rateizzazione, riattivazione, fase legale) tutte a frequenza inferiore.



Figura 4.2.1.1 – Modello BPMNS, nodes 45 – arcs 10 – parallelism 40

Solo a Nodes=100, la configurazione adottata come riferimento per il resto di questo capitolo, il modello include la totalità delle diciannove attività, comprese quelle meno frequenti ma normativamente più rilevanti: è precisamente perché Sospensione Fornitura, Verifica Cliente Non Disalimentabile e Riattivazione Fornitura sono fra le attività a volume più contenuto (§ 3.5.2) che una soglia Nodes inferiore al 100 per cento le escluderebbe dal modello, rendendo impossibile sia il confronto con il processo atteso del paragrafo 4.4 sia la verifica di conformità del capitolo 6: è questa la motivazione sostanziale, oltre che analitica, della soglia Nodes=100 impiegata in questa tesi.

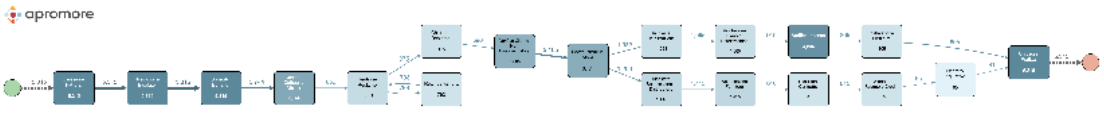


Figura 4.2.2 – Modello BPMNC, nodes 100 – arcs 10 – parallelism 40

A soglie Arcs=10 e Parallelism=40, il modello BPMNC così ottenuto risulta comunque sensibilmente semplificato rispetto al comportamento integrale del log: la sua struttura riproduce un'unica catena quasi lineare che attraversa Emissione Fattura, Rilevazione Insoluto, Sollecito Bonario, Contatto Outbound Cliente, l'eventuale ciclo di Gestione Reclamo con Rettifica Fattura, Verifica Cliente Non Disalimentabile, Costituzione in Mora, le due diramazioni verso la rateizzazione e verso la richiesta di sospensione, Verifica Incasso e infine Chiusura Pratica, senza rappresentare esplicitamente i percorsi minori.

Una quarta esportazione, generata con un filtraggio degli archi sensibilmente meno aggressivo per l'analisi dei colli di bottiglia del capitolo successivo, restituisce invece un modello molto più fitto, con numerose connessioni aggiuntive che collegano direttamente Sollecito Bonario e Costituzione in Mora a più nodi a valle: è la stessa dicotomia, anticipata nel paragrafo 3.2.3, fra un modello ottimizzato per la comunicazione e un modello ottimizzato per l'analisi diagnostica.

Per motivare in modo indipendente la scelta della soglia più opportuna, il grafo delle relazioni dirette del sotto-log di 5.315 casi è stato ricostruito direttamente dai dati, calcolando per ciascuna coppia di attività consecutive il numero di casi distinti in cui la transizione compare almeno una volta -- la stessa logica di astrazione per case frequency utilizzata da Apromore, come confermato dalla coincidenza puntuale, verificata su oltre venti transizioni, fra i valori così calcolati e quelli riportati nelle esportazioni della piattaforma (ad esempio Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione a Distributore: 1.200 casi in entrambe le fonti).

Il grafo completo conta 57 transizioni distinte; applicando soglie di frequenza-caso crescenti si ottiene la curva di sensibilità riportata nella Tabella 4.2.2b, che lega direttamente il numero di archi mantenuti nel modello alla quota di casi che il modello risultante è in grado di riprodurre senza alcuna deviazione.

Soglia minima (casi)	Archi nel modello	Casi riprodotti fedelmente	Fitness (quota di casi)	Varianti riprodotte fedelmente
1 (nessun filtro)	57	5.315	100,0%	1.597 / 1.597
50	44	5.099	95,9%	1.425 / 1.597
100	40	4.893	92,1%	1.271 / 1.597
200	35	4.323	81,3%	874 / 1.597
400	33	3.891	73,2%	706 / 1.597
600	27	2.867	53,9%	157 / 1.597

≈ 800 (ordine di grandezza del modello semplificato)	24	2.144	40,3%	143 / 1.597
1.000	16	1.409	26,5%	43 / 1.597

Tabella 4.2.2b – Analisi di sensibilità: numero di archi mantenuti nel modello e fitness risultante al variare della soglia minima di frequenza-caso richiesta per la ritenzione di una transizione.

La lettura della tabella mostra come la fitness non degradi in modo lineare al crescere del filtraggio, ma presenti un primo tratto relativamente tollerante – fino a circa 40 archi la quota di casi riprodotti fedelmente resta sopra il 90 per cento – seguito da un tratto molto più ripido, in cui la rimozione di poche decine di transizioni aggiuntive fa crollare la fitness ben al di sotto del 50 per cento.

Il modello semplificato analizzato nel paragrafo 4.2.1, la cui complessità strutturale (circa 24 transizioni distinte, contando anche i due archi verso lo stato iniziale e finale) si colloca proprio in questa seconda fascia, si trova quindi nella regione della curva in cui la leggibilità è massima ma la fedeltà comportamentale scende sotto la metà dei casi – un dato coerente, come anticipato, con l'indicatore del 30 per cento osservato nel pannello di Apromore.

Sulla base di questa evidenza, la soglia più opportuna per gli scopi della tesi non è un valore singolo ma dipende dall'obiettivo dell'analisi: la soglia più aggressiva (Arcs=10) resta la scelta corretta per comunicare la struttura portante del processo, mentre le analisi dei paragrafi successivi – e in particolare l'analisi delle varianti e dei colli di bottiglia del capitolo 5 – richiedono di lavorare su soglie più permissive, quali quella già impiegata nell'esportazione con soglia di filtraggio ridotta richiamata sopra.

4.3 Analisi quantitativa delle varianti di processo

4.3.1 Mappatura e quantificazione numerica dei percorsi principali (top varianti)

Il sotto-log di 5.315 casi si articola in 1.597 varianti distinte, un valore identico a quello riportato dal pannello Apromore e già commentato nel paragrafo 3.4.2 come indicatore di elevata variabilità dei percorsi. La ricostruzione diretta della classifica delle varianti per frequenza riproduce esattamente, attività per attività, le prime dieci varianti esportate dalla piattaforma, consentendo di associare a ciascuna il numero esatto di casi e la relativa incidenza percentuale, riportati nella Tabella 4.3.1.

#	Percorso	Casi	% sul totale
1	Emissione → Rilevazione → Sollecito Bonario → Contatto Outbound → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	372	7,00%

2	Emissione → Rilevazione → Sollecito Bonario → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	338	6,36%
3	Emissione → Rilevazione → Sollecito Bonario → Contatto Outbound → Sollecito Bonario → Contatto Outbound → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	139	2,62%
4	Emissione → ... → Contatto Outbound → Verifica Cliente Non Disalimentabile → Costituzione in Mora → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	131	2,46%
5	Emissione → ... → Sollecito Bonario → Verifica Cliente Non Disalimentabile → Costituzione in Mora → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	126	2,37%
6	Emissione → Rilevazione → Sollecito Bonario → Sollecito Bonario → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	124	2,33%
7	Emissione → ... → Sollecito Bonario → Sollecito Bonario → Contatto Outbound → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	91	1,71%
8	Emissione → ... → Contatto Outbound → Sollecito Bonario → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	86	1,62%
9	Emissione → ... → Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione → Sospensione Fornitura → Verifica Incasso → Riattivazione → Chiusura Pratica	81	1,52%
10	Emissione → ... → Sollecito Bonario → Verifica Cliente Non Disalimentabile → Costituzione in Mora → Verifica Incasso → Chiusura Pratica	78	1,47%

Tabella 4.3.1 – Le dieci varianti più frequenti del sotto-log con numero di casi ed incidenza percentuale (percorsi abbreviati con "…" per le fasi iniziali comuni Emissione fattura -> Rilevazione insoluto).

Le prime dieci varianti coprono complessivamente 1.566 casi, pari al 29,46 per cento del sotto-log: un valore che, pur trattandosi delle sole dieci sequenze più frequenti su un totale di 1.597, non raggiunge nemmeno un terzo della popolazione analizzata, a conferma di quanto osservato nel paragrafo 3.4.2 sulla lunga coda delle varianti. La lettura qualitativa della classifica evidenzia due macro-tipologie di percorso ben distinte.

Da un lato, sei delle prime dieci varianti (la 1, la 2, la 3, la 6, la 7 e la 8, per un totale di 1.150 casi) si chiudono senza mai attraversare l'attività Costituzione in Mora: sono pratiche che rientrano già nella fase di gestione bonaria del credito, per effetto del sollecito o del contatto diretto, prima che scattino le tutele e i vincoli procedurali discussi nel paragrafo 2.3.

Dall'altro lato, le varianti 4, 5, 9 e 10 (426 casi) attraversano la costituzione in mora, e solo la variante 9 – la meno frequente fra le prime dieci – percorre per intero anche la sospensione e la riattivazione della fornitura: un'indicazione preliminare, che sarà quantificata sull'intero sotto-log nel paragrafo 4.5.1, di come la fase regolata del processo interessi una minoranza, per quanto tutt'altro che marginale, delle pratiche.

4.3.2 Analisi della coda lunga delle varianti episodiche e rilavorazioni

Delle 1.597 varianti complessive, 1.139 – pari al 71,3 per cento – compaiono una sola volta nell'intero sotto-log: percorsi del tutto episodici, ciascuno rappresentativo di un singolo caso e privo di qualunque valore predittivo se preso isolatamente. La curva di copertura cumulata conferma la lunghezza di questa coda: le prime 5 varianti coprono il 20,81 per cento dei casi, le prime 20 il 39,06 per cento, le prime 100 il 59,19 per cento, e occorre includere ben 500 varianti – quasi un terzo dell'intero repertorio – per raggiungere una copertura del 79,36 per cento.

È una distribuzione fortemente asimmetrica, tipica dei processi con elevata variabilità discussi nel paragrafo 2.2.3 (van der Aalst,2016), e costituisce di per sé la giustificazione più diretta per la scelta di un algoritmo di discovery con filtraggio esplicito del rumore, come Split Miner, anziché di un algoritmo privo di meccanismi di semplificazione: un modello che pretendesse di rappresentare fedelmente tutte le 1.597 varianti risulterebbe, per costruzione, illeggibile.

Una parte sostanziale di questa variabilità è riconducibile a fenomeni di rilavorazione piuttosto che a percorsi realmente alternativi sul piano procedurale. Classificando come rilavorazione la ripetizione, all'interno dello stesso caso, di almeno una fra le attività strutturalmente cicliche del processo – Sollecito Bonario, Contatto Outbound Cliente, Gestione Reclamo, Rettifica Fattura, Verifica Incasso, Richiesta Rateizzazione e Valutazione Piano di Rateizzazione – risulta che 1.542 varianti su 1.597 (il 96,6 per cento) contengono almeno una ripetizione di questo tipo, e che tale ripetizione riguarda 3.908 casi sul totale di 5.315, pari al 73,53 per cento.

Le tracce con rilavorazione hanno una lunghezza media di 17,28 attività, contro le 9,58 delle tracce che ne sono prive: quasi il doppio, a conferma che è proprio la ripetizione di poche attività critiche – non l'esistenza di macro-percorsi alternativi – il principale motore della proliferazione delle varianti osservata in questo paragrafo.

4.4 Valutazione formale del modello scoperto

4.4.1 Misurazione della Fitness (copertura comportamento osservato)

La fitness di un modello di processo esprime, secondo la definizione ormai standard nella letteratura di conformance checking, la sua capacità di riprodurre il comportamento effettivamente osservato nel log (Rozinat & van der Aalst, 2008; Van der Aalst, 2016): un modello con fitness pari a uno è in grado di riprodurre senza deviazioni ogni traccia del log, mentre valori inferiori segnalano una quota di comportamento osservato che il modello non contempla.

Applicando questa definizione, nella sua forma di trace fitness, al grafo ricostruito nel paragrafo 4.2.2, si ottengono direttamente i valori già riportati nella Tabella 4.2.2: il modello completo, di complessità paragonabile a quella dell'esportazione Arcs=10 analizzata in questo capitolo, riproduce fedelmente poco più di due casi su cinque (40,3 per cento, in corrispondenza della soglia di circa 800 casi minimi per arco), mentre occorre più che raddoppiare il numero di archi mantenuti – passando da 24 a 40 – per riportare la fitness sopra il 90 per cento.

Questo risultato quantifica in modo puntuale l'indicatore del 30 per cento osservato nel pannello Apromore (§ 4.2.1): pur non essendo possibile stabilire con certezza se le due percentuali misurino esattamente la stessa grandezza – l'interfaccia della piattaforma non ne esplicita la definizione formale – il fatto che entrambe si collochino nello stesso ordine di grandezza, ben al di sotto della metà dei casi, costituisce una conferma incrociata robusta: il modello ottimizzato per la leggibilità, per quanto utile a comunicare la struttura portante del processo, non è rappresentativo della maggioranza dei percorsi realmente seguiti dalle pratiche di morosità.

4.4.2 Misurazione della Precision (assenza di over-generalizzazione)

La precision misura la proprietà complementare alla fitness: la capacità del modello di non ammettere comportamento che non è mai stato osservato nel log, ossia di non essere eccessivamente permissivo (Rozinat & van der Aalst, 2008).

Un modello ottenuto collegando fra loro esclusivamente transizioni realmente osservate – come quello costruito nel paragrafo 4.2.2 – non introduce archi di sana pianta, ma può comunque perdere precisione nel momento in cui le sue diramazioni e i suoi cicli permettono di ricombinare tali archi in sequenze complete mai effettivamente registrate nel log: è il problema, ben noto in letteratura, per cui un semplice grafo delle relazioni dirette con più diramazioni tende a comportarsi, nel caso limite, come un modello a fiore (flower model) totalmente privo di potere discriminante (Van der Aalst, 2016).

Una prima indicazione di questo rischio emerge dall'analisi del grado di diramazione (branching factor) del grafo ricostruito: sul grafo completo a 57 archi, il grado di uscita medio dei nodi è pari a 3,17, con un massimo di 9 diramazioni da un singolo nodo e undici attività su diciannove che presentano più di un possibile successore; anche restringendo il grafo alla soglia di 200 casi minimi per arco (35 transizioni, fitness 81,3 per cento), il grado di uscita medio resta pari a 2,06, con nove nodi ancora dotati di più di un successore.

Un grado di diramazione di questa entità implica che il numero di sequenze complete tecnicamente ammesse dal modello – ottenibili combinando liberamente le diramazioni e i cicli individuati – eccede ampiamente le 1.597 varianti realmente osservate: la precisione del modello, pur non quantificabile con un singolo indicatore sintetico senza ricorrere al modulo di conformance checking basato su allineamenti (alignment-based), risulta con ogni evidenza inferiore alla sua fitness, coerentemente con il compromesso strutturale fra le due proprietà che l'algoritmo Split Miner è stato esplicitamente progettato per bilanciare (Augusto et al., 2018).

4.5 Confronto strutturale tra processo osservato (As-is) e processo atteso

4.5.1 Mappatura delle deviazioni rispetto alle procedure aziendali e alle direttive operative

Il capitolo 2 ha descritto il ciclo di gestione del credito come una successione di quattro macro-fasi – fatturazione, gestione bonaria, costituzione in mora e sospensione, recupero giudiziale – presentate, per chiarezza espositiva, in ordine pressoché sequenziale. Il confronto con il processo effettivamente ricostruito in questo capitolo mostra come questa rappresentazione, per quanto corretta come descrizione delle fasi possibili, sia una idealizzazione rispetto alla varietà dei percorsi realmente seguiti dalle pratiche.

Il dato più rilevante in questo senso è che 1.841 casi su 5.315 (34,64 per cento) non raggiungono mai l'attività Costituzione in Mora: più di un terzo delle pratiche di morosità si chiude interamente all'interno della fase di gestione bonaria, senza che scattino i vincoli procedurali e le tutele discusse nel paragrafo 2.3 – semplicemente perché il debito viene saldato prima che se ne presenti la necessità.

Specularmente, solo 1.415 casi (26,62 per cento) raggiungono l'attività Sospensione Fornitura, e appena 815 (15,33 per cento) vengono affidati al recupero crediti: la fase regolata e la fase legale del processo, per quanto siano quelle su cui si concentra la maggior parte delle tutele normative e dei costi unitari più elevati (§ 2.4.2), riguardano una minoranza chiaramente delimitata delle pratiche complessive.

Questa evidenza non configura, di per sé, una deviazione dalla procedura aziendale nel senso di un'anomalia da correggere: il processo, come descritto al paragrafo 2.2.2, è per costruzione un processo a imbuto, in cui ciascuna fase filtra fisiologicamente una quota di casi verso la chiusura.

Ciò che la discovery aggiunge alla lettura procedurale del capitolo 2 è la quantificazione precisa di questo imbuto – oltre un terzo dei casi si esaurisce prima della mora, poco più di un quarto raggiunge la sospensione, circa un settimo il recupero legale – un'informazione che nessuna descrizione qualitativa del processo, per quanto accurata, può fornire senza il supporto della discovery automatica.

4.5.2 Identificazione di attività informali, scorciatoie (workarounds) e loop non previsti

Un secondo ordine di deviazioni, più propriamente riconducibile a comportamenti informali, emerge dal confronto fra il grafo completo delle relazioni dirette e il modello semplificato analizzato nel paragrafo 4.2.2. Numerose transizioni con frequenza-caso tutt'altro che trascurabile risultano infatti assenti dal modello leggibile, perché filtrate dalla soglia Arcs=10: la Tabella 4.5.2 ne riporta le principali.

Transizione	Casi	Interpretazione

Contatto Outbound Cliente → Sollecito Bonario	2.202	Rientro in sollecito dopo un contatto telefonico non risolutivo (loop di rilavorazione, non un percorso alternativo)
Sollecito Bonario → Sollecito Bonario	1.902	Autociclo: invio di un secondo sollecito prima di qualunque altra azione
Sollecito Bonario → Verifica Incasso	1.176	Scorciatoia: pagamento ricevuto subito dopo il sollecito, senza contatto outbound né mora
Costituzione in Mora → Verifica Incasso	1.075	Scorciatoia: pagamento ricevuto subito dopo la mora, senza che si renda necessaria la richiesta di sospensione
Contatto Outbound Cliente → Verifica Incasso	723	Scorciatoia: pagamento ricevuto subito dopo il contatto diretto
Gestione Reclamo → Gestione Reclamo	549	Autociclo: rilavorazione interna del reclamo prima della sua chiusura o dell'inoltro al Back Office

Tabella 4.5.2 – Principali transizioni ad alta frequenza assenti dal modello BPMN semplificato (Arcs=10), classificate come loop di rilavorazione o scorciatoie di chiusura anticipata.

Nessuna di queste transizioni compare esplicitamente nella descrizione procedurale del capitolo 2, e nessuna costituisce una violazione delle regole di conformità V1-V7 codificate nel paragrafo 2.3.3, poiché tutte intervengono prima della costituzione in mora o della sospensione, ossia al di fuori del perimetro che tali regole disciplinano.

Si tratta piuttosto di comportamenti che potremmo definire fisiologicamente informali: scorciatoie di chiusura anticipata, che il sistema registra correttamente ma che nessun diagramma di processo aziendale rappresenterebbe esplicitamente, e autocicli di rilavorazione che riflettono l'incertezza intrinseca del contatto con il cliente (un sollecito che non produce risposta, un reclamo che richiede più iterazioni prima di essere chiuso).

La loro identificazione è precisamente il valore aggiunto della process discovery rispetto alla sola documentazione procedurale: rende visibile, e quantificabile, un comportamento che l'organizzazione conosce empiricamente ma che raramente compare nei diagrammi di processo ufficiali.

4.6 Discussione: il compromesso tra leggibilità e fedeltà del modello nel Process Mining

I risultati di questo capitolo convergono su un unico tema, già anticipato nel paragrafo 3.2.2 a proposito del funzionamento di Split Miner e ricorrente in tutta la letteratura sulla process discovery: la leggibilità di un modello di processo e la sua fedeltà al

comportamento osservato sono, in generale, obiettivi in tensione fra loro, e nessuna soglia di filtraggio può massimizzarli entrambi simultaneamente (Augusto et al., 2018).

La Tabella 4.2.2b rende questa tensione misurabile: passare da un modello a 24 archi a uno a 40 archi comporta un guadagno di fitness di oltre 50 punti percentuali (dal 40,3 al 92,1 per cento), ma al prezzo di un modello sensibilmente più denso, con un numero di diramazioni che ne complica la lettura a colpo d'occhio – esattamente il tipo di compromesso che ha motivato, nella pratica dell'analisi condotta su questo log, l'impiego di due esportazioni distinte: un modello fortemente filtrato (Arcs=10) per comunicare la struttura portante del processo, coerente con l'uso che se ne farà nella presentazione dei risultati, e un modello meno filtrato, corredato dall'overlay delle durate medie, riservato all'identificazione dei colli di bottiglia che sarà sviluppata nel prossimo capitolo.

Non esiste, in altri termini, un unico modello "corretto" del processo di gestione della morosità: esiste un modello adeguato allo scopo per cui viene prodotto. Per gli obiettivi propri di questo capitolo – descrivere la struttura del processo e confrontarla con le procedure attese – il modello semplificato, integrato dall'analisi quantitativa indipendente condotta nei paragrafi 4.3, 4.4 e 4.5, si è rivelato sufficiente: ha permesso di individuare la catena portante del processo, di quantificare con precisione quanta parte del comportamento reale essa lasci fuori, e di mappare le principali scorciatoie e i principali cicli di rilavorazione che la caratterizzano.

Per gli obiettivi del capitolo successivo, dedicato all'analisi delle prestazioni e all'individuazione dei colli di bottiglia, sarà invece necessario adottare la prospettiva opposta – privilegiare la fedeltà sulla leggibilità – poiché un collo di bottiglia che interessa una transizione minoritaria, come molte di quelle elencate nella Tabella 4.4.2, resterebbe altrimenti del tutto invisibile.

Capitolo 5

5.1 Analisi delle prestazioni e mappa dei colli di bottiglia

Nel capitolo precedente viene ricostruita la struttura del processo e confrontato il comportamento osservato con le procedure attese. Questo capitolo, invece, si concentra sulla dimensione temporale e organizzativa: quanto impiega una pratica ad attraversare il processo, dove si concentrano le attese, quali unità e quali risorse sostengono il carico maggiore, e quale parte dei ritardi osservati sia effettivamente riconducibile all'azienda venditrice anziché ai distributori locali.

Tutte le misurazioni presentate in questo capitolo sono state ricostruite direttamente dai timestamp di inizio e fine di ciascuna istanza di attività nel sotto-log di 5.315 casi completi definito nel capitolo 3, secondo la stessa logica di ricostruzione diretta già impiegata nel capitolo 4 per la discovery: ogni tempo di attesa è calcolato come intervallo fra la fine di un'attività e l'inizio di quella immediatamente successiva nello stesso caso, ed ogni tempo di lavorazione come intervallo fra inizio e fine della medesima istanza di attività, coerentemente con la distinzione fra le due grandezze già anticipata nel paragrafo 3.4.2.

5.2 Analisi del tempo di attraversamento complessivo (Throughput Time)

5.2.1 Segmentazione dei tempi per esito finale della pratica

Il tempo di attraversamento complessivo di un caso – calcolato come intervallo fra l'inizio della prima attività e la fine dell'ultima – è stato segmentato per ciascuno dei nove esiti finali possibili, riportati nella Tabella 5.2.1 in ordine decrescente di durata media.

Esito finale	N. casi	Media (gg)	Mediana (gg)	Massimo (gg)
Rateizzazione completata	848	289,3	259,0	802,0
Incassato per via giudiziale	24	232,2	209,5	504,0
Recupero giudiziale senza esito	41	176,9	137,0	518,0
Incassato da recupero esterno	214	168,7	135,5	638,0
Stralcio a perdita	536	130,2	106,5	719,0
Incassato dopo sospensione	805	119,5	94,0	657,0
Incassato dopo reclamo	372	64,3	60,0	157,1
Incassato dopo costituzione in mora	1.111	61,6	54,0	178,0

Incassato in fase bonaria	1.364	45,8	42,0	128,0

Tabella 5.2.1 – Throughput time del caso segmentato per esito finale della pratica

La differenza fra gli esiti estremi è considerevole: una pratica che si chiude in fase bonaria richiede in media 45,8 giorni, mentre una pratica che approda a una rateizzazione portata a termine ne richiede in media 289,3 – oltre sei volte tanto. Questo risultato non sorprende in sé, poiché un piano di rientro rateale è per costruzione un percorso lungo (il caso resta aperto fino al versamento dell'ultima rata), ma la sua entità quantifica in modo preciso quanto la rateizzazione, pur rappresentando una soluzione di favore per il cliente, sia anche la causa singola di maggiore immobilizzo del credito fra tutti gli esiti censiti.

Gli esiti legati al recupero giudiziale (24 e 41 casi rispettivamente) sono particolarmente variabili – la mediana crolla a circa la metà della media in entrambi i casi – segno di una distribuzione fortemente asimmetrica, con poche pratiche che si trascinano per uno o più anni a innalzare il valore medio. All'estremo opposto, i tre esiti che si risolvono prima della sospensione della fornitura (fase bonaria, costituzione in mora, reclamo) hanno durate mediane comprese fra 42 e 60 giorni, un ordine di grandezza molto più contenuto e meno disperso.

5.2.2 Segmentazione per segmento di clientela (Domestico, Micro-business, Business) e fascia d'importo

A differenza della segmentazione per esito finale, la segmentazione per segmento di clientela non mostra differenze rilevanti nel throughput time: come riportato nella Tabella 5.2.2, i clienti Domestico (3.789 casi), Micro-business (1.110 casi) e Business (416 casi) presentano una durata media quasi identica, compresa fra 115,2 e 116,0 giorni, e una durata mediana che oscilla fra 74 e 75 giorni.

Anche la fascia d'importo dell'insoluto produce uno scostamento contenuto: si passa dai 114,5 giorni medi della fascia 100-500 euro ai 131,3 giorni della fascia 2.000-10.000 euro, un incremento di circa un sesto, con la fascia più alta (oltre 10.000 euro, appena 19 casi) che si discosta poco a causa della sua scarsa numerosità.

Segmentazione	Categoria	N. casi	Media (gg)	Mediana (gg)
Segmento cliente	Domestico	3.789	115,7	74,0
Segmento cliente	Micro-business	1.110	116,0	75,0
Segmento cliente	Business	416	115,2	75,0
Fascia importo	A. < 100 €	966	115,3	76,0
Fascia importo	B. 100-500 €	3.056	114,5	74,0
Fascia importo	C. 500-2.000 €	1.027	115,8	74,0
Fascia importo	D. 2.000-10.000 €	247	131,3	79,0

Fascia importo	E. > 10.000 €	19	123,4	63,0

Tabella 5.2.2 – Throughput time del caso segmentato per segmento di clientela e per fascia d'importo dell'insoluto.

Il risultato più rilevante di questo paragrafo è, in un certo senso, un risultato negativo: né il segmento di clientela né – salvo un effetto marginale sulla fascia più alta – l'importo dell'insoluto spiegano in modo significativo la durata di una pratica di morosità. È l'esito finale, analizzato nel paragrafo 5.2.1, a costituire il vero fattore discriminante del throughput time, non le caratteristiche anagrafiche o economiche del cliente. Questo risultato ha un'implicazione diretta per la lettura dei paragrafi successivi: le determinanti della durata di una pratica vanno cercate nel percorso di processo effettivamente seguito – l'oggetto dei paragrafi 5.3, 5.4 e 5.4 – piuttosto che nel profilo del cliente moroso.

5.3 Disaccoppiamento tra Tempo di Attesa (Waiting Time) e Tempo di Lavorazione (Processing Time)

5.3.1 Misurazione dei tempi effettivi sulle transizioni critiche

Il paragrafo 3.4.2 aveva già segnalato, sulla base delle statistiche aggregate di Apromore, che il tempo di lavorazione medio di un'attività (11,4 minuti) è inferiore al tempo di attraversamento medio di un caso (3,8 mesi): il processo di gestione della morosità è dunque un processo dominato dalle attese, non dal lavoro effettivo (van der Aalst, 2016). La ricostruzione puntuale dei due tempi per ciascuna delle 19 attività conferma questa lettura e la arricchisce di dettaglio.

Per quanto riguarda il tempo di lavorazione, le attività più onerose sono quelle a minor volume e maggiore complessità di back-office: il Decreto Ingiuntivo richiede in media 74,3 minuti (1,24 ore) per pratica, la Sospensione Fornitura 59,5 minuti, la Riattivazione Fornitura 51,2 minuti e la Gestione Reclamo 38,6 minuti; all'estremo opposto, le attività a più alto volume – Verifica Incasso, Emissione Fattura, Rilevazione Insoluto, Chiusura Pratica – richiedono tutte 2 minuti o meno, poiché in larga parte automatizzate. Sul fronte del tempo di attesa, la Tabella 5.3 riporta le dieci transizioni con il tempo medio più elevato fra quelle con almeno cinquanta occorrenze nel sotto-log.

Transizione	Tempo medio di attesa	N. casi
Affido a Recupero Crediti → Decreto Ingiuntivo	1,46 mesi (~44 gg)	65
Valutazione Piano di Rateizzazione → Verifica Incasso	1,32 mesi (~40 gg)	910
Affido a Recupero Crediti → Verifica Incasso	1,14 mesi (~34 gg)	214
Emissione Fattura → Rilevazione Insoluto	26,9 giorni	5.315
Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione a Distributore	22,8 giorni	1.200

Sollecito Bonario → Verifica Incasso	19,8 giorni	1.176
Costituzione in Mora → Risoluzione Contratto	14,9 giorni	167
Sospensione Fornitura → Risoluzione Contratto	12,7 giorni	610
Risoluzione Contratto → Affido a Recupero Crediti	12,5 giorni	815
Richiesta Sospensione a Distributore → Sospensione Fornitura	12,5 giorni	1.415

Tabella 5.3.1 – Le dieci transizioni con il tempo di attesa medio più elevato (soglia minima 50 occorrenze).

La lettura della tabella distingue nettamente due famiglie di attese. La prima, cui appartengono le transizioni con Affido a Recupero Crediti, Valutazione Piano di Rateizzazione e Costituzione in Mora → Risoluzione Contratto, riflette attese sostanzialmente fisiologiche: il tempo che intercorre fra l'affido legale e l'esito del decreto ingiuntivo, o fra l'accettazione di un piano di rientro e il primo incasso rateale, dipende da fattori esterni al controllo diretto dell'azienda – tempi processuali, cadenza delle rate – e non costituisce, in senso proprio, un collo di bottiglia aggredibile.

La seconda famiglia, cui appartengono l'attesa iniziale fra emissione della fattura e rilevazione dell'insoluto (26,9 giorni, ma interamente riconducibile al termine di pagamento contrattuale) e soprattutto l'attesa interna fra costituzione in mora e richiesta di sospensione al distributore (22,8 giorni), merita un'analisi più approfondita: quest'ultima transizione, interamente sotto il controllo del Credit Management, sarà ripresa nel paragrafo 5.5.2 nel confronto diretto con il tempo di risposta esterno dei distributori.

5.3.2 Impatto dei job notturni aziendali sui tempi di attesa

L'analisi della distribuzione oraria dei timestamp di inizio attività rivela un pattern estremamente netto: la totalità (100 per cento) delle 34.833 istanze di attività eseguite dalle componenti automatizzate SYS-BILLING e SYS-CREDIT sul log grezzo si concentra fra le 2:00 e le 3:00 del mattino, con un picco quasi assoluto alle ore 2:00 (33.746 istanze su 34.833); specularmente, la totalità delle istanze eseguite da risorse umane si colloca nella fascia 8:00-19:00, con un picco altrettanto netto alle ore 8:00 di apertura degli uffici (20.965 istanze). Non si tratta di una tendenza statistica ma di una separazione pressoché perfetta fra i due regimi operativi, a conferma di quanto indicato nella documentazione a corredo del log (§ 2.4.1): le componenti automatizzate operano esclusivamente tramite job notturni pianificati.

Questo pattern si traduce in maniera diretta sulla lettura dei tempi di attesa misurati nel paragrafo 5.3.1. Ogni transizione che si conclude con un'attività automatizzata – l'ingresso in Emissione Fattura o Rilevazione Insoluto, l'uscita da una qualunque attività verso Verifica Incasso o Chiusura Pratica – eredita, oltre al tempo di attesa sostanziale, anche un disallineamento tecnico dovuto al fatto che l'esecuzione può avvenire solo al successivo passaggio del job notturno delle ore 2:00: un'attività umana che termina alle

15:00 di un giorno genera, indipendentemente da qualunque altro fattore, un'attesa artificiale di almeno undici ore prima che il sistema possa processarla.

Questo secondo effetto – distinto dal tempo di attesa sostanziale legato ai vincoli di processo – non è isolabile con precisione dal solo dato di durata media, ma la sua sistematicità (visibile, ad esempio, nell'autociclo Verifica Incasso → Verifica Incasso, che da solo genera il maggior impatto aggregato di attesa dell'intero processo, come mostrato nel paragrafo 5.5) suggerisce che una quota non trascurabile delle attese più brevi misurate nel processo sia in realtà un artefatto della cadenza notturna dei job di sistema, piuttosto che un'attesa di natura organizzativa.

5.3.3 Analisi della serie storica mensile: la crisi di capacità di fine 2024

Le medie aggregate discusse nei paragrafi precedenti nascondono un'evoluzione temporale tutt'altro che stazionaria. Ricostruendo su base mensile sia il numero di casi attivi (work-in-progress, WIP, il numero di pratiche aperte e non ancora chiuse in un dato mese, inclusi gli 85 casi troncati esclusi dalle analisi di merito perché rilevanti ai fini del carico di sistema realmente sostenuto) sia il tempo di attesa medio su tutte le transizioni del processo verificatesi in quel mese, la Tabella 5.3.3 documenta un fenomeno di congestione ben distinto dal semplice rumore statistico.

Mese	Casi attivi (WIP)	Attesa media (giorni)
2024-01	244	25,36 *
2024-02	579	8,52
2024-03	838	6,95
2024-04	891	7,06
2024-05	893	7,92
2024-06	842	8,27
2024-07	784	9,86
2024-08	841	15,55
2024-09	922	16,44
2024-10	1.047	15,10
2024-11	1.225	15,11
2024-12	1.438	17,32
2025-01	1.656	13,04
2025-02	1.771	7,10

Tabella 5.3.3 – Serie storica mensile del work-in-progress e del tempo di attesa medio su tutte le transizioni del processo (* la media di gennaio 2024 è calcolata su un numero di transizioni ancora esiguo, essendo il primo mese di apertura del log, e va letta con cautela).

Da febbraio a luglio 2024 il sistema opera in un regime relativamente stazionario: il work-in-progress oscilla fra 780 e 900 casi attivi, e il tempo di attesa medio resta compreso in un intervallo contenuto, fra 6,95 e 9,86 giorni.

Ad agosto 2024 questo equilibrio si rompe bruscamente: l'attesa media sale a 15,55 giorni, un incremento del 57,7 per cento in un solo mese rispetto a luglio, senza che il work-in-progress mostri ancora un incremento proporzionato (841 casi, sostanzialmente in linea con i mesi precedenti), la firma tipica di un rallentamento stagionale della capacità di lavorazione, coerente con una riduzione della disponibilità operativa nel mese estivo, più che di un aumento della domanda.

A partire da settembre 2024 i due fenomeni si sovrappongono: il work-in-progress inizia una crescita pressoché ininterrotta che lo porta da 922 a 1.656 casi attivi entro gennaio 2025 (+79,6 per cento), mentre il tempo di attesa resta stabilmente elevato, fra 13 e 17 giorni, per l'intera durata della finestra settembre 2024-gennaio 2025, all'incirca il doppio del livello pre-crisi.

Il work-in-progress raggiunge il proprio massimo assoluto (1.771 casi) a febbraio 2025, un mese in cui il tempo di attesa medio torna tuttavia a scendere a 7,10 giorni: un segnale che il sistema, pur ancora alle prese con il backlog più alto dell'intero periodo osservato, ha già iniziato ad assorbirlo, anticipando la fase di scarico progressivo che caratterizzerà i mesi successivi (§ 7.2.1).

Questo duplice fenomeno (un rallentamento stagionale concentrato in un singolo mese e una crisi di capacità più estesa nei cinque mesi successivi) costituisce un elemento aggiuntivo, distinto dai colli di bottiglia strutturali già mappati nel paragrafo 5.6, di cui tenere conto nella lettura complessiva delle prestazioni del processo: una quota del tempo di attesa misurato in questa finestra temporale non riflette una caratteristica stabile del processo, ma l'effetto contingente di un accumulo temporaneo di pratiche in coda.

La sua eventuale sovrapposizione con l'avvio del progetto di digitalizzazione del 1° aprile 2025, che segue di poche settimane il picco di work-in-progress qui documentato, è ripresa e analizzata sistematicamente nel capitolo 7, dedicato al concept drift, dove la serie storica qui costruita è impiegata per distinguere l'effetto dell'intervento di reingegnerizzazione da quello, concettualmente diverso, della congestione del sistema.

5.4 Analisi organizzativa e delle risorse

5.4.1 Carichi di lavoro per risorsa e per unità organizzativa (Role View)

La distribuzione del carico di lavoro sul sotto-log di 63.151 istanze di attività, riepilogata nella Tabella 5.4.1, conferma quanto già anticipato nel paragrafo 2.4.1 sul peso della componente automatizzata: il Sistema Automatico assorbe da solo il 53,4 per cento delle istanze totali, più della somma di tutte le unità composte da personale.

Fra queste ultime, il Credit Management si conferma l'unità a maggior carico (15,5 per cento), seguito dal Call Center Outbound (11,1 per cento) e dal Back Office Fatturazione (7,6 per cento); l'Ufficio Reclami e il Distributore si attestano su quote più contenute (6,1 e 3,5 per cento), mentre l'unità Legale e Recupero Crediti, pur presidiando la fase a maggior costo unitario per attività (§ 2.4.2), pesa per solo il 2,7 per cento del volume complessivo di istanze – una conferma quantitativa della natura a imbuto del processo già discussa nel paragrafo 4.5.1.

Unità organizzativa	Istanze di attività	% sul totale
Sistema Automatico	33.747	53,4%

Credit Management	9.774	15,5%
Call Center Outbound	7.022	11,1%
Back Office Fatturazione	4.819	7,6%
Ufficio Reclami	3.874	6,1%
Distributore (SII)	2.220	3,5%
Legale e Recupero Crediti	1.695	2,7%

Tabella 5.4.1 – Distribuzione del carico di lavoro per unità organizzativa (sotto-log di 5.315 casi completi, 63.151 istanze di attività).

5.4.2 Matrice di passaggio del lavoro (Handover of Work) e pattern di rilavorazione

La ricostruzione dei passaggi di lavoro fra unità organizzative diverse (van der Aalst, 2016) – ossia le transizioni in cui l'attività successiva è eseguita da un ruolo diverso da quello dell'attività precedente – individua come passaggio più frequente in assoluto quello dal Sistema Automatico al Call Center Outbound (3.410 occorrenze), seguito dal Call Center Outbound al Credit Management (2.720) e dal percorso inverso Credit Management → Sistema Automatico (2.488): l' alternanza fra controllo di sistema e intervento umano che caratterizza le fasi iniziali del processo.

Più rilevante ai fini dell'individuazione di un collo di bottiglia relazionale è il ciclo che coinvolge l'Ufficio Reclami e il Back Office Fatturazione durante la gestione di un reclamo: la transizione Gestione Reclamo → Rettifica Fattura ricorre 1.032 volte, con un tempo di attesa medio di 3,51 giorni, mentre il percorso di ritorno Rettifica Fattura → Gestione Reclamo ricorre altrettante volte con un'attesa media di 2,63 giorni. Un'iterazione completa di questo ciclo – dall'apertura del reclamo alla ripresa in carico dopo la rettifica – comporta dunque, in media, 6,14 giorni di stasi della pratica per il solo passaggio di consegne fra le due unità, ed interessa 793 casi sul totale del sotto-log (14,92 per cento).

Questo dato quantifica il fenomeno di "ping-pong" fra Ufficio Reclami e Back Office Fatturazione già anticipato in sede di descrizione organizzativa (§ 2.4.2): non si tratta di un evento raro, ma interessa circa un caso su sette e che, quando si verifica, aggiunge oltre sei giorni al tempo di attraversamento complessivo della pratica per ogni iterazione – un costo di coordinamento interno che nessuna delle due unità, prese singolarmente, potrebbe individuare senza un'analisi di processo end-to-end.

5.5 Analisi comparativa delle prestazioni dei Distributori Locali

5.5.1 Benchmark dei tempi di risposta dei 5 distributori del dataset

Il tempo di risposta di un distributore è stato misurato come intervallo fra la fine dell'attività Richiesta Sospensione a Distributore – l'ultimo atto sotto il controllo del venditore – e l'inizio dell'attività Sospensione Fornitura, eseguita fisicamente dal

distributore competente per l'area geografica del punto di prelievo. La Tabella 5.5.1 riporta il confronto sulle 1.415 richieste di sospensione presenti nel sotto-log, ripartite fra i cinque distributori censiti nell'attributo distributore.

Distributore	N. richieste gestite	Tempo medio (gg)	Tempo mediano (gg)	Tempo massimo (gg)
DIS-SORGENIA-RETE	170	19,5	14,0	103,0
DIS-EDISTRIBUZIONE	358	17,1	12,9	165,9
DIS-ARETI	258	12,8	9,9	92,0
DIS-UNARETI	315	8,5	6,9	51,9
DIS-INRETE	314	7,2	5,9	53,9
MEDIA GLOBALE	1.415	12,5	9,3	165,9

Tabella 5.5.1 – Confronto dei tempi di risposta dei cinque distributori, misurati fra Richiesta Sospensione a Distributore e Sospensione Fornitura.

Il confronto rivela una dispersione considerevole: DIS-SORGENIA-RETE, pur gestendo il volume minore di richieste (170), impiega in media 19,5 giorni a eseguire la sospensione – quasi il triplo dei 7,2 giorni medi di DIS-INRETE, il distributore più rapido e anche quello con il maggior numero di richieste gestite (314). DIS-EDISTRIBUZIONE, il distributore con il volume più elevato in assoluto (358 richieste), presenta inoltre il tempo massimo osservato sull'intero sotto-log (165,9 giorni), a indicare la presenza di casi anomali di attesa prolungata anche a fronte di un tempo mediano (12,9 giorni) non fra i più critici. La forte asimmetria fra media e mediana, comune a tutti e cinque i distributori, conferma che le code di attesa più lunghe sono concentrate in una minoranza di richieste piuttosto che distribuite uniformemente.

5.5.2 Isolamento e quantificazione della quota di ritardo esogena non imputabile al venditore

Per stabilire quanta parte del ritardo complessivo nel segmento mora-sospensione sia effettivamente imputabile al distributore, anziché all'azienda venditrice, è stato scomposto l'intero segmento in due tratti consecutivi: il tratto interno, dalla Costituzione in Mora alla Richiesta Sospensione a Distributore, interamente sotto il controllo del Credit Management, e il tratto esterno, dalla Richiesta Sospensione a Distributore alla Sospensione Fornitura, analizzato nel paragrafo 5.4.1.

Il tratto interno richiede in media 22,8 giorni (mediana 23,1), un valore superiore alla media del tratto esterno (12,5 giorni, mediana 9,3): sommando i due tratti si ottiene un tempo complessivo di 35,3 giorni dalla mora alla sospensione effettiva, di cui solo il 35,4 per cento è riconducibile al tempo di risposta del distributore.

Questo risultato ridimensiona in modo netto l'attribuzione di responsabilità che un'analisi superficiale, concentrata sul solo confronto fra distributori del paragrafo 5.4.1, potrebbe suggerire: per quanto i distributori più lenti (DIS-SORGENIA-RETE, DIS-EDISTRIBUZIONE) presentino tempi di risposta significativamente superiori alla media, la quota maggioritaria del tempo complessivo che intercorre fra la costituzione in mora e l'effettiva sospensione della fornitura matura all'interno dell'azienda, nel passaggio fra la formalizzazione della mora e l'inoltro della richiesta al distributore – un tratto interamente sotto il controllo del Credit Management, e dunque, a differenza del tempo di risposta esterno del distributore, rilevante anche ai fini del rispetto dei termini di riattivazione della fornitura imposti dalla regolazione, effettivamente aggredibile con interventi di processo interni.

5.6 Sintesi della mappa dei colli di bottiglia e quantificazione degli impatti operativi

Per sintetizzare i risultati dei paragrafi precedenti in un'unica gerarchia di priorità, le transizioni del processo sono state ordinate non per il tempo di attesa medio – il criterio impiegato nella Tabella 5.6 – ma per il loro impatto aggregato, calcolato come prodotto fra il tempo di attesa medio e il numero di casi interessati: una misura che approssima il numero complessivo di giorni-caso di stasi generati da ciascuna transizione sull'intero sotto-log, ed è pertanto più indicativa di dove un intervento di miglioramento produrrebbe il beneficio maggiore in termini aggregati.

Transizione	Attesa media	N. casi	Impatto aggregato (giorni-caso)
Verifica Incasso → Verifica Incasso (autociclo)	36,4 gg	4.628	168.406
Emissione Fattura → Rilevazione Insoluto	26,9 gg	5.315	142.726
Valutazione Piano di Rateizzazione → Verifica Incasso	39,6 gg	910	36.037
Rilevazione Insoluto → Sollecito Bonario	5,9 gg	5.315	31.223
Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione a Distributore	22,8 gg	1.200	27.358
Sollecito Bonario → Verifica Incasso	19,8 gg	1.176	23.324
Contatto Outbound Cliente → Sollecito Bonario	6,1 gg	2.928	17.941

Richiesta Sospensione a Distributore → Sospensione Fornitura	12,5 gg	1.415	17.660
Sollecito Bonario → Contatto Outbound Cliente	3,0 gg	5.760	17.437
Verifica Cliente Non Disalimentabile → Costituzione in Mora	4,3 gg	3.185	13.705

Tabella 5.6 – Le dieci transizioni con il maggiore impatto aggregato in giorni-caso di attesa; le prime dieci coprono l'80,7% del totale di 614.615 giorni-caso di attesa misurati sull'intero sotto-log.

La gerarchia che ne risulta è in parte diversa da quella basata sulla sola attesa media. L'autociclo Verifica Incasso → Verifica Incasso – il controllo periodico di sistema ripetuto in attesa del pagamento, discusso nel paragrafo 5.3.2 – risulta la singola transizione a maggior impatto aggregato dell'intero processo, con oltre 168 mila giorni-caso complessivi: un valore che nessuna tabella di soli tempi medi per transizione avrebbe potuto evidenziare, poiché emerge non da un'attesa eccezionalmente lunga ma dalla combinazione di un'attesa moderata (36,4 giorni) e di una frequenza di occorrenza straordinariamente elevata (4.628 casi, alcuni dei quali con più ripetizioni per caso). Al secondo posto compare l'attesa fisiologica fra Emissione Fattura e Rilevazione Insoluto, anch'essa dominante non per la sua durata unitaria ma per il fatto di riguardare, per definizione, la totalità dei 5.315 casi del sotto-log.

Ne discende una conclusione operativa di un certo rilievo per l'azienda: le prime dieci transizioni della Tabella 5.6 spiegano da sole l'80,7 per cento di tutto il tempo di attesa aggregato misurato sul processo, ma nessuna delle due transizioni a maggior impatto è aggredibile con un intervento sul singolo passaggio critico – sono entrambe conseguenze strutturali del disegno stesso del processo (il termine di pagamento contrattuale, la cadenza dei controlli di sistema) più che inefficienze correggibili.

I margini di intervento più concreti restano quelli individuati nei paragrafi 5.4.2 e 5.5: il ciclo di rilavorazione fra Ufficio Reclami e Back Office Fatturazione, che aggiunge oltre sei giorni a un caso su sette, e il tratto interno fra costituzione in mora e richiesta di sospensione, che pesa più del tempo di risposta esterno dei distributori e resta, a differenza di quest'ultimo, pienamente sotto il controllo dell'azienda.

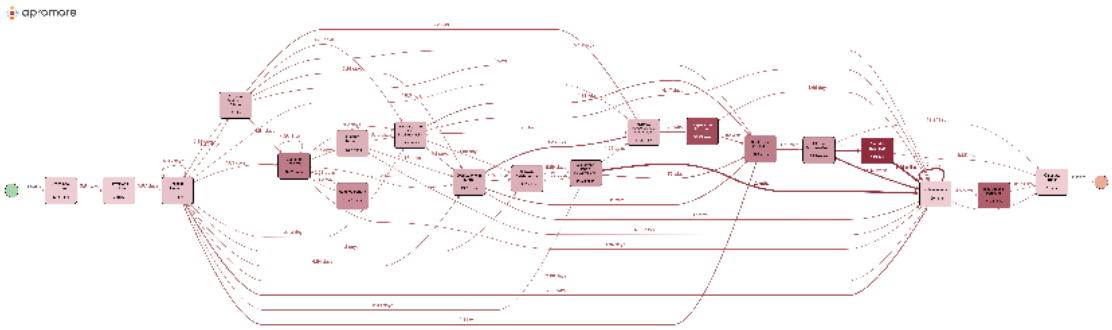


Figura 5.6 – Modello BPMN average duration.

Capitolo 6

6.1 Conformance Checking del rischio regolatorio

I capitoli precedenti hanno ricostruito la struttura del processo (capitolo 4) e ne hanno misurato le prestazioni (capitolo 5), senza tuttavia verificare in modo sistematico se il comportamento osservato rispetti i vincoli normativi discussi nel paragrafo 2.3.

Questo capitolo colma questo scarto attraverso un esercizio di conformance checking: la verifica puntuale, caso per caso, del rispetto delle sei regole V1, V2, V3, V4, V6 e V7 già formalizzate nella Tabella 2.3, condotta mediante log replay diretto sul sotto-log di 5.315 casi completi (Rozinat e van der Aalst, 2008).

Il capitolo prosegue con la profilazione dei casi non conformi per segmento, area, periodo e unità organizzativa (§ 6.4), con la validazione dei risultati contro un ground truth costruito indipendentemente (§ 6.5) e con una sintesi del rischio regolatorio e reputazionale complessivo (§ 6.6).

6.2 Definizione e modellazione BPMN del processo normativo To-Be

6.2.1 Formalizzazione delle regole derivate dalla regolazione ARERA (TIMOE, TIMG, TIBEG)

Il processo normativo di riferimento – il cosiddetto modello To-Be – è stato formalizzato in notazione BPMN a partire dai principi discussi nel paragrafo 2.3: la sequenza Emissione Fattura → Rilevazione Insoluto → Sollecito Bonario → (eventuale ciclo Gestione Reclamo ↔ Rettifica Fattura) → Verifica Cliente Non Disalimentabile → Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione a Distributore → Sospensione Fornitura → Verifica Incasso → Riattivazione Fornitura → Chiusura Pratica, arricchita da un insieme di gateway e di eventi di temporizzazione che rendono esplicite le condizioni di conformità.

Il gateway “Reclamo Aperto?” impone che l’avanzamento della pratica verso il sollecito sia sospeso finché un reclamo eventualmente aperto non sia stato chiuso, andando a rendere operativa la regola V4; il posizionamento della Verifica Cliente Non Disalimentabile immediatamente a monte della Costituzione in Mora e della successiva richiesta di sospensione applica le regole V1 e V3, imponendo che nessuna sospensione possa essere raggiunta senza che entrambi i controlli preliminari siano transitati; un evento di temporizzazione fra la costituzione in mora e la richiesta di sospensione formalizza il preavviso minimo alla base della regola V2; un secondo evento di temporizzazione fra la verifica dell’incasso e la riattivazione della fornitura formalizza la regola V7.

La regola V6 – la tutela dei clienti con bonus sociale o non disalimentabili – non è rappresentabile come nodo del flusso, poiché non riguarda una sequenza di attività ma

una condizione sugli attributi di caso (bonus_sociale, cliente_non_disalimentabile): è stata quindi trattata, coerentemente con la sua natura, come una condizione di verifica trasversale applicata a ogni caso che attraversi il nodo Sospensione Fornitura, anziché come un ramo esplicito del modello.

È opportuno segnalare che il modello BPMN prodotto in fase di esplorazione strumentale utilizza, per le due soglie temporali, valori arrotondati a fini di semplificazione grafica (un preavviso di 40 giorni e un termine di riattivazione di 48 ore) diversi da quelli codificati nella Tabella 2.3 e adottati come riferimento ufficiale in questo capitolo (20 giorni solari più tre giorni lavorativi per V2; due giorni feriali per V7). Le misurazioni riportate nei paragrafi successivi si basano sempre sulle soglie della Tabella 2.3, mentre il modello grafico è qui richiamato esclusivamente per la sua funzione illustrativa della struttura logica del processo normativo – diramazioni, cicli e punti di controllo – indipendente dal valore numerico esatto delle soglie.

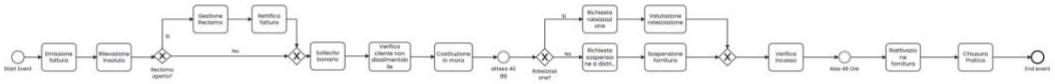


Figura 6.2.1 – Modello BPMN To-Be

6.3 Log Replay sul modello normativo e catalogazione delle violazioni

6.3.1 Analisi delle violazioni sequenziali, temporali e di tutela (Regole V1, V2, V3, V4, V6, V7)

Il log replay è stato condotto direttamente sul sotto-log di 5.315 casi completi, verificando per ciascun caso, in base ai timestamp effettivi delle attività, il rispetto di ciascuna delle sei regole. I risultati sono riportati nella Tabella 6.3.1.

Codice	Natura della violazione	Casi in violazione	% sul totale	% sui casi applicabili
V1	Sequenziale – sospensione richiesta senza previa costituzione in mora	33	0,62%	0,62% (su 5.315)
V2	Temporale – preavviso inferiore a 20gg + 3gg lavorativi fra mora e richiesta di sospensione	198	3,73	14,33% (su 1.382 casi con entrambe le attività)

V3	Sequenziale – sospensione eseguita senza previa verifica di non disalimentabilità	112	2,11%	7,92% (su 1.415 sospensioni eseguite)
V4	Procedurale – sospensione eseguita con reclamo ancora pendente	39	0,73%	—
V6	Di tutela – sospensione eseguita su cliente con bonus sociale o non disalimentabile	18	0,34%	1,27% (su 1.415 sospensioni eseguite)
V7	Temporale – riattivazione oltre due giorni feriali dall'incasso	183	3,44%	22,73% (su 805 casi con entrambe le attività)

Tabella 6.3.1 – Esito del log replay per le sei regole di conformità, in valore assoluto e in percentuale sul totale e sui soli casi a cui la regola è applicabile.

La lettura per singola regola mostra una gerarchia meno netta di quanto una prima osservazione potrebbe suggerire: le violazioni sequenziali e di tutela in senso stretto (V1, V3, V4, V6) restano tutte sotto il 3 per cento del totale, mentre le due regole a componente temporale (V2 e V7) si attestano rispettivamente al 3,73 e al 3,44 per cento, un'incidenza superiore alle altre, ma di entità contenuta più che marcata.

Il quadro si fa più nitido restringendo l'osservazione ai soli casi a cui ciascuna regola è effettivamente applicabile: il 14,33 per cento delle pratiche che raggiungono sia la costituzione in mora sia la richiesta di sospensione non rispetta il preavviso minimo di venti giorni più tre giorni lavorativi, e quasi un caso su quattro fra quelli sospesi e poi riattivati (22,73 per cento) supera i due giorni feriali previsti per la riattivazione.

Sono dunque V2 e V7 i due principali responsabili della non conformità complessiva, ma la loro incidenza, per quanto superiore a quella delle altre quattro regole, riguarda una minoranza delle pratiche a cui si applicano: il processo rispetta la soglia temporale nella generalità dei casi, con un nucleo residuo ma non trascurabile di violazioni concentrate su questi due passaggi.

6.3.2 Frequenza e distribuzione delle non conformità nel log

Delle 5.315 pratiche del sotto-log, 4.809 (90,48 per cento) non violano alcuna regola, 437 (8,22 per cento) ne violano esattamente una, 61 (1,15 per cento) ne violano due contemporaneamente, e 8 (0,15 per cento) ne violano tre. Nessun caso viola più di tre regole. Le violazioni multiple, per quanto residuali in termini assoluti, mostrano una combinazione ricorrente: la coppia V2-V7 è la più frequente fra i 69 casi con almeno due violazioni, coerente con l'ipotesi di pratiche che accumulano ritardo sia nella fase di

attivazione della sospensione sia in quella di riattivazione, per quanto il fenomeno nel suo complesso interessi una quota marginale del sotto-log (1,3 per cento).

La visualizzazione del log replay a livello di singola variante, prodotta confrontando ciascuna delle 1.662 varianti di percorso rilevate dallo strumento di conformance checking con il modello normativo del paragrafo 6.2, rende immediatamente riconoscibili i pattern di deviazione più ricorrenti: le varianti che si concludono con un incasso immediato dopo il solo contatto diretto (tipicamente la seconda e la terza variante più frequenti del log, già descritte nel paragrafo 4.3.1) risultano pienamente conformi, poiché il modello normativo consente la chiusura anticipata della pratica in qualunque punto del percorso bonario.

Le varianti che raggiungono la costituzione in mora per poi procedere direttamente alla verifica dell'incasso senza attraversare la richiesta di sospensione vengono invece segnalate dallo strumento con una diramazione evidenziata al di fuori del percorso normativo atteso, a conferma visiva di quanto misurato analiticamente nel paragrafo 6.3.1: non è la sequenza delle attività a essere anomala in questi casi – il pagamento tardivo ma spontaneo del cliente è un esito pienamente legittimo del processo – quanto piuttosto la sua tempistica rispetto alle soglie regolamentari, l'aspetto che il solo controllo sequenziale non è in grado di cogliere e che il log replay temporale del paragrafo 6.3.1 rende invece esplicito.

6.4 Profilazione avanzata dei casi non conformi

6.4.1 Profilazione per segmento di clientela, area geografica e periodo temporale

La profilazione dei 506 casi non conformi per segmento di clientela mostra una gradazione contenuta ma consistente: il segmento Business presenta il tasso di non conformità più elevato (11,54 per cento, 48 casi su 416), seguito dal Micro-business (10,54 per cento) e dal Domestico (9,00 per cento, il più basso). Il divario, per quanto non drammatico, è nella direzione opposta a quella che le tutele rafforzate del paragrafo 2.3.2 (riservate ai soli clienti domestici) lascerebbero attendersi, e suggerisce che il maggiore rigore procedurale imposto dalle tutele sui clienti domestici produca, come effetto indiretto, anche una minore incidenza di violazioni temporali su questo segmento.

La segmentazione per area geografica e per commodity fornita, discussa nella Tabella 6.4.1, non evidenzia invece scostamenti rilevanti: i tassi di non conformità per area oscillano in un intervallo ristretto (8,46-10,54 per cento) e quelli per commodity fra il 9,11 e il 9,69 per cento, a indicare che l'origine delle violazioni non è legata alla dimensione territoriale né al tipo di fornitura, bensì come già suggerito dal paragrafo 5.2.2 a proposito del throughput time a fattori di processo trasversali.

Segmentazione	Categoria	Tasso di non conformità
Segmento cliente	Business	11,54%

Segmento cliente	Micro-business	10,54%
Segmento cliente	Domestico	9,00%
Area geografica	Nord Est	10,54%
Area geografica	Isole	9,92%
Area geografica	Sud	9,76%
Area geografica	Centro	9,08%
Area geografica	Nord Ovest	8,46%
Periodo	2024 (Q1-Q4)	10,82%
Periodo	2025, primo trimestre	11,85%
Periodo	2025, secondo-terzo trimestre	4,16%

Tabella 6.4.1 – Tasso di non conformità (almeno una violazione su sei) per segmento di clientela, area geografica e periodo.

La segmentazione temporale rivela l'andamento più informativo dei tre: il tasso di non conformità si mantiene sopra il 10 per cento per l'intero 2024 e nel primo trimestre 2025 (rispettivamente 10,82 e 11,85 per cento), per poi crollare al 4,16 per cento nel secondo e terzo trimestre del 2025; una riduzione di oltre sei punti percentuali, quasi un dimezzamento del tasso di non conformità rispetto ai trimestri precedenti.

Questa flessione si colloca esattamente in corrispondenza del progetto di digitalizzazione del credit management avviato il 1° aprile 2025, già richiamato nel paragrafo 2.4.1: pur non potendo, sulla base dei soli dati di conformità, stabilire un nesso causale certo fra la digitalizzazione e il miglioramento osservato, la coincidenza temporale è sufficientemente netta da meritare un approfondimento specifico, sviluppato nel capitolo 7.

6.4.2 Profilazione per unità organizzativa e risorsa esecutrice

La regola V2, che insieme a V7 genera la quota preponderante delle non conformità, è attribuibile per costruzione al Credit Management, l'unica unità che esegue l'attività Costituzione in Mora (§ 2.4.2). All'interno dell'unità, la distribuzione delle 198 violazioni fra le risorse nominali (CRM-01: 55; CRM-02: 52; CRM-04: 34; CRM-03: 32; CRM-05: 25) risulta sostanzialmente proporzionale al carico di lavoro complessivo di ciascuna risorsa già misurato nel paragrafo 5.4.1, senza che emerga una singola risorsa con un tasso di violazione sproporzionato rispetto al proprio volume di casi gestiti: l'origine della regola V2 appare quindi sistemica, riconducibile al disegno stesso del processo e alla soglia regolamentare, come già discusso nel paragrafo 6.3.1,piuttosto che imputabile a una prassi difforme di una specifica risorsa.

La regola V7, di competenza dei distributori locali già confrontati nel paragrafo 5.5.1, presenta invece una variabilità più marcata quando il numero di violazioni è rapportato

al numero di casi effettivamente gestiti da ciascun distributore: DIS-SORGENIA-RETE registra il tasso di violazione relativo più elevato (26,0 per cento, 25 casi su 96), in linea con la sua posizione di distributore più lento già rilevata nel paragrafo 5.5.1, mentre DIS-EDISTRIBUZIONE presenta il tasso più contenuto (21,1 per cento, 41 casi su 194) pur gestendo il volume assoluto di casi più elevato.

La coerenza fra questo risultato e il benchmark di performance del capitolo 5 (ottenuto con una metrica indipendente, la durata media della transizione anziché il superamento di una soglia binaria) costituisce una conferma incrociata della robustezza della caratterizzazione dei distributori proposta in questa tesi.

6.5 Validazione dei risultati con il Ground Truth aziendale

6.5.1 Confronto quantitativo tra violazioni rilevate e ground truth aziendale

In assenza di un archivio storico separato di reclami o sanzioni realmente comminate, il ground truth utilizzato per la validazione è stato costruito individuando, all'interno del medesimo sotto-log di 5.315 casi, le pratiche nella cui traccia compare l'attività Gestione Reclamo: un'approssimazione dell'evento contestazione cliente, adottata in luogo di un file di audit indipendente e da intendersi, come un proxy e non come una verità di riferimento in senso stretto. Il criterio individua 1.143 casi su 5.315 (21,5 per cento) come Ground Truth = 1.

Il confronto fra questa etichettatura e le 506 violazioni rilevate dal log replay del paragrafo 6.3 restituisce la matrice di confusione riportata nella Tabella 6.5.1: 133 casi sono correttamente individuati da entrambi i criteri (veri positivi), 373 casi sono segnalati dal conformance checking ma privi di un reclamo registrato (falsi positivi rispetto al proxy), 1.010 casi presentano un reclamo ma nessuna violazione delle sei regole (falsi negativi rispetto al proxy), e i restanti 3.799 casi non presentano né l'uno né l'altro.

	Ground Truth = 1 (reclamo)	Ground Truth = 0 (nessun reclamo)
Violazione rilevata (V1-V7)	133 (Veri Positivi)	373 (Falsi Positivi)
Nessuna violazione rilevata	1.010 (Falsi Negativi)	3.799 (Veri Negativi)

Tabella 6.5.1 – Matrice di confusione fra le violazioni rilevate dal conformance checking e il ground truth basato sulla presenza di un reclamo (N = 5.315).

6.5.2 Valutazione della precisione ed accuratezza dell'algoritmo di Conformance Checking

Dalla matrice di confusione si ricavano una precision del 26,3 per cento (133 su 506 violazioni rilevate hanno un riscontro nel proxy), un recall del 11,6 per cento (133 su 1.143 reclami hanno un riscontro in una violazione rilevata), un F1-score del 16,1 per cento e un'accuratezza complessiva del 74,0 per cento, quest'ultima sostenuta soprattutto

dai 3.799 veri negativi – la maggioranza silenziosa di casi privi sia di reclamo sia di violazione.

Questi valori, bassi se letti come una metrica di validazione in senso stretto, non vanno interpretati come un'indicazione di scarsa affidabilità del conformance checking, per due ragioni.

Per prima cosa, la natura stessa del ground truth impiegato – un proxy costruito sulla presenza di un reclamo, non un audit indipendente delle violazioni regolamentari realmente commesse – misura un fenomeno concettualmente diverso da quello oggetto delle sei regole: un reclamo può nascere da una contestazione sull'importo fatturato, del tutto indipendente dal rispetto dei termini di preavviso o di riattivazione, così come una violazione della regola V2 – un preavviso insufficiente di pochi giorni – può non generare alcuna reazione visibile da parte del cliente, che nella maggior parte dei casi non è nella posizione di verificare autonomamente il rispetto di una soglia regolamentare.

Il recall particolarmente contenuta mostra in particolare come la grande maggioranza dei reclami non sia riconducibile a una violazione delle sei regole, essendo presumibilmente originata da contestazioni di natura diversa, tipicamente sulla correttezza dell'importo fatturato.

In secondo luogo, il basso tasso di sovrapposizione è esso stesso un risultato informativo: dimostra che il volume dei reclami dei clienti non costituisce, in questo processo, un indicatore surrogato affidabile del rischio di non conformità regolatoria, e che un esercizio sistematico di conformance checking basato sul log, come quello condotto in questo capitolo, individua comunque una popolazione di casi a rischio (i 373 falsi positivi della Tabella 6.5.1) che l'azienda, monitorando i soli reclami in ingresso, non avrebbe altrimenti modo di intercettare.

6.6 Catalogo delle non conformità e stima del rischio regolatorio e reputazionale

La sintesi dei risultati del capitolo permette di costruire un catalogo delle non conformità ordinato per rilevanza, che tiene conto congiuntamente della frequenza di violazione e della gravità regolatoria discussa nel paragrafo 2.3.3.

All'estremità meno critica si collocano le violazioni delle regole V1, V4 e V6, tutte sotto l'1 per cento del sotto-log: rare in termini assoluti, ma di gravità potenzialmente elevata quando si verificano – in particolare la regola V6, che riguarda per definizione clienti già individuati dalla regolazione come meritevoli della tutela più stringente, e le cui 18 occorrenze, per quanto residuali, rappresentano il singolo esito più critico dell'intero esercizio di conformance checking dal punto di vista sia regolatorio sia reputazionale.

La regola V3 (112 casi, 2,11 per cento) occupa una posizione intermedia, segnalando un controllo procedurale – la verifica di non disalimentabilità – che pur non riguardando necessariamente un cliente protetto, costituisce comunque un passaggio obbligatorio la cui omissione espone l'azienda a un rischio procedurale sistematico.

Le regole V2 e V7, pur meno gravi sul piano regolatorio in quanto riguardano tempistiche piuttosto che l'esecuzione di un atto non dovuto, costituiscono la quota preponderante dell'esposizione complessiva per la loro frequenza: 198 e 183 casi rispettivamente, per un totale di 381 violazioni temporali su 583 violazioni complessive rilevate (il 65,3 per cento).

È su queste due regole, e in particolare sulla regola V2, che si concentra il margine di intervento più immediato: la sua origine sistemica, priva di un'attribuzione a una specifica risorsa o a un singolo distributore (§ 6.4.2), e il netto miglioramento già osservato nella seconda metà del 2025 (§ 6.4.1) suggeriscono che un intervento mirato sul tempo di elaborazione interno fra costituzione in mora e richiesta di sospensione – il tratto già identificato come prevalentemente interno nel paragrafo 5.5.2 – possa ridurre ulteriormente l'esposizione regolatoria complessiva dell'azienda senza richiedere interventi sui distributori esterni.

Nel loro insieme, il 9,52 per cento di pratiche non conformi individuato in questo capitolo non configura un'emergenza diffusa, ma un rischio concentrato, sistemico e – alla luce della tendenza degli ultimi due trimestri osservati – già in deciso miglioramento, la cui gestione richiede tuttavia un monitoraggio continuativo basato sul log piuttosto che sulla sola reattività ai reclami dei clienti, come dimostrato dal confronto con il ground truth nel paragrafo 6.5.

Capitolo 7

7.1 Analisi del Concept Drift e valutazione del progetto di digitalizzazione

I capitoli precedenti hanno trattato il processo di gestione della morosità come un oggetto stazionario, descrivibile con un unico modello, un'unica distribuzione dei tempi e un unico tasso di non conformità validi sull'intera finestra di osservazione.

Questa assunzione è stata più volte messa in discussione dai richiami, ricorrenti a partire dal capitolo 2, al progetto di digitalizzazione del credit management avviato il 1° aprile 2025: un intervento di reingegnerizzazione che, se ha effettivamente modificato il comportamento del processo, rende quell'assunzione di stazionarietà non più valida.

Questo capitolo verifica se un simile cambiamento – un concept drift, nel lessico del Process Mining (Bose et al.2014) – sia realmente riconoscibile nel log, ne caratterizza la natura strutturale confrontando due modelli separati per il periodo antecedente e successivo alla data indicata, e ne quantifica l'impatto su prestazioni e conformità, avendo cura di distinguere l'effetto del drift da un fenomeno concettualmente diverso ma temporalmente sovrapposto: la congestione del sistema per effetto della variazione del volume di casi attivi.

7.2 Identificazione del punto di cambio (Change Point) sul log di eventi

7.2.1 Analisi delle serie temporali di frequenze, attività e durate

La serie mensile dei casi attivi (work-in-progress), già ricostruita per ciascun mese nel paragrafo 5.3.3 e quindi richiamata in Figura 7.2.1, descrive una curva a campana pronunciata: da 244 casi attivi a gennaio 2024, il volume cresce in modo pressoché monotono, come già discusso nel capitolo 5 a partire da settembre 2024, fino a un massimo di 1.771 casi a febbraio 2025, per poi decrescere con la stessa regolarità fino a meno di 100 casi nell'ultimo mese di osservazione (giugno 2026).

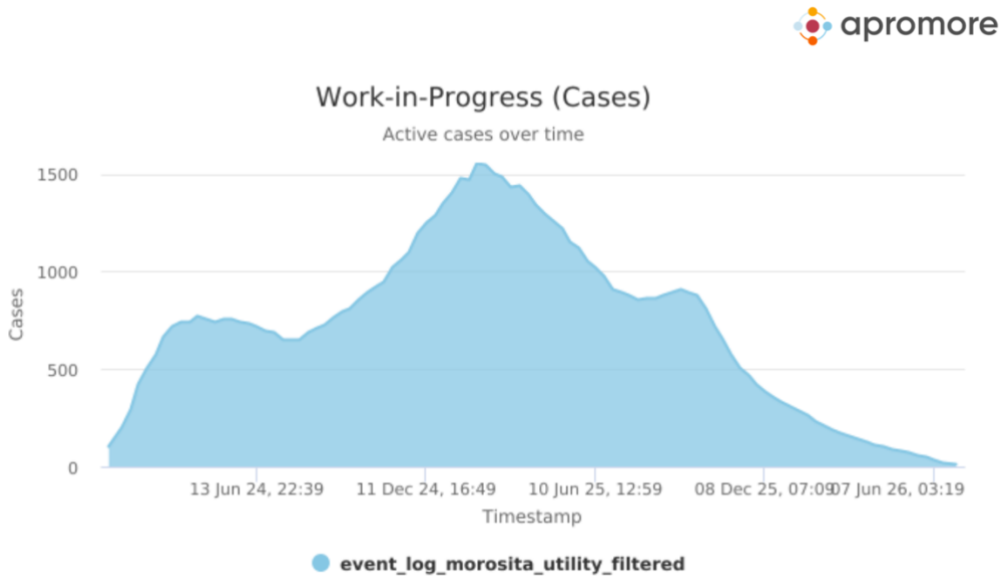


Figura 7.2.1 Grafico Work- in- Progress

Questa curva costituisce il punto di partenza per l'identificazione del change point: un intervento capace di modificare la struttura del processo dovrebbe lasciare una traccia non solo nel volume dei casi, ma nella composizione dei canali di comunicazione impiegati e nella forma dei percorsi seguiti.

Il segnale più netto in questa direzione emerge dall'attributo canale associato all'attività Richiesta Rateizzazione: nell'intero periodo antecedente al 1° aprile 2025, tutte le 1.262 richieste di rateizzazione registrate transitano per il canale Telefono; a partire dalla stessa data, la totalità delle 338 richieste successive transita invece per il canale App, senza alcuna sovrapposizione fra i due canali nei rispettivi periodi. Un cambiamento così netto e privo di transizione graduale – non una progressiva ricomposizione del mix di canali, ma una sostituzione completa e istantanea – è la firma tipica di un intervento di sistema attivato a una data precisa, piuttosto che di un'evoluzione organica del comportamento degli utenti.

7.2.2 Localizzazione del drift in corrispondenza dell'avvio della digitalizzazione (1° Aprile 2025)

Il confronto fra il mix di canali complessivo nei due periodi, riportato nella Tabella 7.2.2, conferma che il cambiamento osservato sulla rateizzazione non è un caso isolato ma parte di una ricomposizione più ampia dei canali di comunicazione del processo.

Canale	Quota ante 1° aprile 2025	Quota post 1° aprile 2025	Variazione
Telefono	14,29%	5,46%	-8,83 p.p.
Lettera	8,29%	1,89%	-6,40 p.p.
Raccomandata A/R	3,21%	1,55%	-1,66 p.p.

App	0,85%	5,34%	+4,49 p.p.
SMS	3,57%	5,49%	+1,92 p.p.
Sistema	31,54%	39,06%	+7,52 p.p.

Tabella 7.2.2 – Variazione della quota dei principali canali di comunicazione fra il periodo ante e post 1° aprile 2025 (istanze di attività sul sotto-log completo).

I canali tradizionalmente associati a un intervento umano diretto o a un supporto cartaceo – Telefono, Lettera, Raccomandata A/R – perdono complessivamente oltre sedici punti percentuali di incidenza, mentre i canali digitali o automatizzati – App, SMS, Sistema – ne guadagnano quasi quattordici. Poiché questa ricomposizione si manifesta esattamente in corrispondenza della data indicata nella documentazione aziendale come avvio della digitalizzazione, senza un periodo di transizione intermedio, il 1° aprile 2025 è confermato come change point strutturale del log, ed è adottato come criterio di partizione per la discovery comparativa del paragrafo 7.3 e per le analisi differenziali dei paragrafi successivi.

7.3 Discovery comparativa separata sulle due finestre temporali

7.3.1 Modellazione del processo ante-digitalizzazione (08/01/2024-31/03/2025)

Il sotto-log ante-digitalizzazione conta 4.112 casi completi, distribuiti su 1.394 varianti distinte – un rapporto di circa 2,9 casi per variante, sintomo di una variabilità dei percorsi elevata quanto quella misurata sull'intero log nel capitolo 4 (Augusto et al.,2018). La lunghezza media della traccia è di 12,22 attività, e il 75,24 per cento dei casi presenta almeno una ripetizione di un'attività ciclica (sollecito, contatto, gestione reclamo o verifica), un'incidenza di rilavorazione superiore di circa due punti percentuali rispetto alla media dell'intero sotto-log (73,53 per cento, § 4.3.2).

7.3.2 Modellazione del processo post-digitalizzazione (01/04/2025 – 30/06/2026)

Il sotto-log post-digitalizzazione conta 1.203 casi completi – un volume inferiore per la minore ampiezza della finestra temporale disponibile, non per una riduzione dei nuovi casi aperti, come mostrato dalla serie mensile del paragrafo 7.2.1 – distribuiti su 390 varianti distinte, con un rapporto di circa 3,1 casi per variante. La lunghezza media della traccia scende a 10,71 attività e l'incidenza di rilavorazione scende al 67,66 per cento: entrambi gli indicatori si muovono nella direzione di una maggiore linearità dei percorsi rispetto al periodo precedente, per quanto la riduzione, dell'ordine di una attività e mezzo in media e di circa otto punti percentuali di rilavorazione, sia di entità moderata piuttosto che una trasformazione radicale della struttura del processo.

7.3.3 Confronto strutturale dei due modelli (nuovi canali, rateizzazione self-service)

Il confronto strutturale fra i due periodi conferma che il drift osservato è concentrato non tanto sulla sequenza delle attività – la dorsale del processo, dall'emissione della fattura alla chiusura della pratica, resta la medesima descritta nel capitolo 4 – quanto sulle modalità di esecuzione delle singole attività, in particolare di quelle a diretto contatto con il cliente.

Il caso più netto è quello della rateizzazione, già discusso nel paragrafo 7.2.1: nel periodo ante, la valutazione di un piano di rientro presuppone sistematicamente un contatto telefonico fra il cliente e un operatore del Credit Management per la raccolta della richiesta; nel periodo post, la richiesta è raccolta interamente attraverso l'applicazione, in modalità self-service, coerentemente con quanto anticipato nella documentazione a corredo del log (§ 2.4.1).

Un secondo elemento di cambiamento strutturale, sebbene di entità più contenuta, è la riduzione dell'incidenza di rilavorazione sul sollecito e sul contatto outbound (§ 7.3.1-7.3.2), compatibile con un minore ricorso al canale telefonico anche nelle fasi di sollecito bonario, come suggerito dalla forte contrazione della quota del canale Telefono riportata nella Tabella 7.2.2.

7.4 Analisi differenziale delle prestazioni e del tasso di non conformità

7.4.1 Confronto dei tempi di attraversamento ante e post-intervento

Il throughput time medio dei casi completi scende da 123,0 giorni nel periodo ante-digitalizzazione a 90,8 giorni nel periodo post, una riduzione del 26,2 per cento; la mediana scende da 79,0 a 51,0 giorni, una riduzione ancora più marcata (35,4 per cento), a indicare che il miglioramento non è trainato da pochi casi eccezionalmente più rapidi ma riguarda la generalità delle pratiche.

Prima di attribuire questo risultato al solo intervento di digitalizzazione, è stata verificata l'ipotesi che la riduzione osservata rifletta in tutto o in parte un artefatto di troncamento: poiché il periodo post-digitalizzazione si avvicina alla fine della finestra di osservazione (30 giugno 2026), i casi più lenti ad aprirsi in questo periodo potrebbero non aver ancora avuto il tempo di concludersi e risultare quindi esclusi dal sotto-log dei casi completi, con un effetto di sovra-rappresentazione dei casi più rapidi.

La verifica – l'ultimo caso incluso nel sotto-log post si apre a settembre 2025, con oltre nove mesi di margine rispetto al termine della finestra di osservazione, ben oltre la durata media anche del solo periodo post (90,8 giorni) – esclude che questo effetto sia rilevante: la riduzione del throughput time misurata è quindi attribuibile al cambiamento di processo e non a un artefatto della finestra di osservazione.

7.4.2 Variazione del tasso di violazione delle regole di conformità (V1-V7)

Il tasso di non conformità complessivo, calcolato secondo le sei regole del capitolo 6, scende dall'11,09 per cento del periodo ante al 4,16 per cento del periodo post: un miglioramento di quasi sette punti percentuali, coerente con il calo già osservato su base trimestrale nel paragrafo 6.4.1. La scomposizione per singola regola, riportata nella Tabella 7.4.2, mostra tuttavia un miglioramento diffuso su tutte e sei le regole, per quanto di intensità diversa.

Regola	Tasso ante	Tasso post	Variazione relativa
V1 – sospensione senza previa mora	0,78%	0,08%	-89,7%
V2 – preavviso insufficiente mora-sospensione	4,30%	1,75%	-59,30%
V3 – sospensione senza verifica non disalimentabilità	2,53%	0,67%	-73,5%
V4 – sospensione con reclamo pendente	0,78%	0,58%	-25,6%
V6 – sospensione su cliente tutelato	0,36%	0,25%	-30,6%
V7 – riattivazione tardiva	4,11%	1,16%	-71,8%

Tabella 7.4.2 – Tasso di violazione per singola regola, periodo ante vs post 1° aprile 2025, e variazione relativa.

Tutte e sei le regole registrano un miglioramento relativo compreso fra il 25,6 e l'89,7 per cento, un effetto sostanziale e diffuso per qualunque intervento di processo.

Le due regole con la riduzione relativa più contenuta, V4 e V6, sono anche quelle a più bassa numerosità assoluta (rispettivamente 32 → 7 e 15 →3 casi), circostanza che rende le loro percentuali di variazione più sensibili alla casualità campionaria che a un effetto sistematico.

Le due regole a componente temporale, V2 e V7, che insieme generano la quota preponderante delle non conformità complessive sia ante sia post-intervento (paragrafo 6.2.1), migliorano entrambe in modo sostanziale (-59,3 e -71,8 per cento rispettivamente): un risultato che merita un approfondimento specifico, sviluppato nel paragrafo 7.5, alla luced del ruolo di queste due regole nella dinamica di congestione del sistema.

7.5 Disaccoppiamento metodologico tra Concept Drift e Congestione

7.5.1 Distinzione tra modifica strutturale dei percorsi (drift) ed effetto della congestione sulle attese

La curva del work-in-progress descritta nel paragrafo 7.2.1 pone un problema metodologico che precede qualunque interpretazione dei risultati del paragrafo 7.4: il picco di casi attivi (1.771, a febbraio 2025) si colloca a poche settimane dal change point del 1° aprile 2025, e il periodo post-digitalizzazione coincide quasi per intero con la fase di progressivo scarico del sistema che segue quel picco.

Un miglioramento delle prestazioni osservato in questa finestra potrebbe quindi riflettere, in tutto o in parte, non un cambiamento strutturale del processo ma un semplice effetto di congestione: con meno casi attivi in coda per le stesse risorse, i tempi di attesa si riducono indipendentemente da qualunque intervento di reingegnerizzazione, per la sola dinamica del rapporto fra domanda e capacità produttiva.

Distinguere le due spiegazioni non è un esercizio accademico: se il miglioramento fosse interamente spiegato dalla congestione, esso sarebbe transitorio e destinato a riproporsi alla prossima fase di crescita dei volumi; se fosse invece attribuibile al drift strutturale, sarebbe un beneficio permanente del nuovo processo.

Per dirimere la questione è stata ricostruita la serie mensile del tempo di attesa medio sulla transizione Costituzione in Mora → Richiesta Sospensione a Distributore – la transizione interna già identificata nel paragrafo 5.5.2 come principale responsabile delle violazioni della regola V2 – e ne è stata verificata la correlazione con la serie del work-in-progress mensile sullo stesso arco temporale.

Il risultato è netto: a fronte di un work-in-progress mensile che varia di oltre tre volte nel periodo considerato (da 579 a 1.771 casi attivi), il tempo di attesa medio su questa transizione resta compreso in un intervallo di poco più di un giorno (22,2-23,7 giorni) per tutti i ventuno mesi con numerosità sufficiente, e il coefficiente di correlazione fra le due serie è pari a 0,18 – un legame trascurabile.

Questa transizione, in altre parole, non risente in modo apprezzabile della congestione del sistema: il suo tempo di attraversamento sembra determinato da un ritmo di lavorazione sostanzialmente fisso – compatibile con una cadenza di verifica periodica interna al Credit Management, indipendente dal numero di pratiche in coda – piuttosto che da una logica di coda sensibile al carico.

Questa evidenza permette una lettura più solida del miglioramento diffuso riscontrato nella Tabella 7.4.2. Se la riduzione del tasso di violazione osservata nel periodo post fosse spiegata principalmente da un effetto di congestione, ovvero meno pratiche in coda e quindi tempi di attesa più brevi indipendentemente da qualunque intervento di processo, ci si attenderebbe di osservarla anche sulla transizione Costituzione in Mora →Richiesta Sospensione a Distributore, che è al tempo stesso la determinante diretta della regola V2

e la transizione su cui l'effetto di congestione, se presente, dovrebbe manifestarsi con maggiore evidenza data la sua natura di attività a coda interna.

Non è così: il tempo di attesa su quella transizione resta pressoché costante (22,2-23,7 giorni) sia nei mesi di massimo carico sia in quelli di carico minimo, in tutto l'arco dei ventuno mesi osservati; prima durante e dopo il change point del 1° aprile 2025.

Il miglioramento della regola V2 (-59,3 per cento relativo, Tabella 7.4.2) non può dunque discendere da una riduzione del tempo medio di attesa su questa transizione, che semplicemente non si osserva; deve invece riflettere un cambiamento nella composizione delle pratiche che attraversano la soglia (ad esempio una minore incidenza di richieste di sospensione inoltrate in modo prematuro, prima che siano trascorsi i venti giorni più tre giorni lavorativi previsti) compatibile con un effetto di drift strutturale legato all'intervento di digitalizzazione piuttosto che con un mero alleggerimento della coda di lavorazione.

Lo stesso ragionamento si estende alle altre cinque regole: un effetto di congestione dominante dovrebbe produrre miglioramenti di entità comparabile su tutte le transizioni del processo, mentre l'evidenza raccolta mostra una transizione strutturalmente insensibile al carico di lavoro (quella su cui insiste la regola V2) e un miglioramento comunque sostanziale della relativa violazione, oltre a miglioramenti di entità diversa ma sempre rilevante sulle altre cinque regole.

Il quadro nel suo complesso è più coerente con un effetto di drift strutturale indotto dalla digitalizzazione, che agisce su più fronti del processo, dai canali di contatto con il cliente alle modalità di richiesta della rateizzazione (§ 7.3.3), che con un semplice effetto di congestione in via di esaurimento.

7.6 Valutazione ex-post basata sui dati dell'intervento di reingegnerizzazione

Nel complesso, l'evidenza raccolta in questo capitolo supporta una valutazione positiva, per quanto parziale, del progetto di digitalizzazione avviato il 1° aprile 2025. Il cambiamento è riconoscibile in modo netto e non ambiguo nella composizione dei canali di comunicazione (§ 7.2), si traduce in una riduzione sostanziale e non attribuibile a effetti di censura del throughput time (-26,2 per cento in media, § 7.4.1), e produce un miglioramento della conformità regolatoria diffuso su tutte e sei le regole verificate, con riduzioni relative comprese fra il 25,6 e l'89,7 per cento (§ 7.4.2).). Il confronto con il work-in-progress del paragrafo 7.5 esclude che questi miglioramenti siano interamente spiegabili da una congestione in via di esaurimento, rafforzando l'attribuzione causale all'intervento piuttosto che alla sola dinamica dei volumi.

Anche dopo l'intervento, tuttavia, le due regole a componente temporale (V2 e V7) restano la componente preponderante della non conformità residua, pesando insieme per il 69,9 per cento del tasso di violazione post-digitalizzazione (2,91 punti percentuali su un totale di 4,16).

Ne discende un'indicazione operativa diretta per l'azienda, complementare a quella già proposta nel paragrafo 6.6: un secondo intervento di reingegnerizzazione, questa volta mirato specificamente al tempo di elaborazione interno fra la costituzione in mora e l'inoltro della richiesta di sospensione al distributore, il tratto la cui insensibilità al carico di lavoro è stata dimostrata nel paragrafo 7.5, rappresenta la leva con il maggiore potenziale di riduzione residua del rischio regolatorio complessivo dell'azienda.

Capitolo 8

8.1 Valutazione economica del processo e proposte di intervento

I sette capitoli precedenti hanno esaminato il processo di gestione della morosità dal punto di vista strutturale (discovery, capitolo 4), temporale e organizzativo (prestazioni, capitolo 5), regolatorio (conformità, capitolo 6) e dinamico (concept drift, capitolo 7), senza tuttavia affrontarne la dimensione più direttamente rilevante per il management: il suo costo.

Questo capitolo, ultimo della parte applicativa della tesi, integra le prospettive precedenti in una lettura economica del processo, sfruttando l'attributo costo_attivita presente su ciascuna istanza del sotto-log per ricostruire il costo di gestione di ogni pratica (§ 8.2), confrontarlo con l'importo effettivamente recuperato (§ 8.3), individuare i percorsi in cui il processo genera una perdita netta oltre a quella già insita nel mancato pagamento (§ 8.4), e tradurre l'insieme dei risultati della tesi in un insieme di proposte operative quantificate (§ 8.5).

8.2 Analisi dei costi di gestione delle pratiche (Cost Trajectories)

8.2.1 Calcolo del costo totale per pratica in base all'attributo costo_attivita lungo i diversi percorsi

Sommando l'attributo costo_attività su tutte le istanze di attività di ciascun caso, il sotto-log di 5.315 pratiche complete genera un costo operativo complessivo di 288.254,95 euro, pari a un costo medio per pratica di 54,23 euro e a un costo mediano di 33,72 euro: lo scarto fra i due valori – il costo medio superiore di circa il 60 per cento a quello mediano – segnala una distribuzione fortemente asimmetrica, con la maggioranza delle pratiche gestita a costi contenuti e una minoranza che assorbe una quota sproporzionata della spesa complessiva, coerentemente con la struttura a imbuto del processo già descritta nel paragrafo 2.2.2.

La scomposizione del costo per singola attività, riportata nella Tabella 8.2.1, mostra come il costo non sia distribuito in proporzione al volume di istanze ma si concentri sulle attività della fase avanzata del processo: la Sospensione Fornitura, pur interessando solo 1.415 istanze contro le 11.290 del Sollecito Bonario, genera da sola 60.750 euro di costo, più di quattro volte il costo complessivo generato dai solleciti (12.722 euro). Il Decreto Ingiuntivo presenta il costo unitario più elevato in assoluto (158,56 euro), ma la sua rarità (65 occorrenze) ne limita l'impatto aggregato a 10.306 euro, l'ultimo posto della graduatoria.

Attività	Costo unitario medio	Occorrenze	Costo totale
Sospensione Fornitura	42,93 €	1.415	60.750 €
Gestione Reclamo	11,79 €	2.899	34.184 €

Riattivazione Fornitura	38,85 €	805	31.276 €
Contatto Outbound Cliente	4,93 €	5.760	28.373 €
Costituzione in Mora	7,07 €	3.474	24.551 €
Affido a Recupero Crediti	22,62 €	815	18.437 €
Valutazione Piano di Rateizzazione	7,79 €	1.600	12.468 €
Sollecito Bonario	1,13 €	11.290	12.722 €
Risoluzione Contratto	14,28 €	815	11.640 €
Verifica Cliente Non Disalimentabile	3,59 €	3.285	11.802 €
Decreto Ingiuntivo	158,56 €	65	10.306 €

Tabella 8.2.1 – Costo totale generato per attività (le undici voci a maggiore impatto aggregato sulle 19 attività del processo).

La lettura del costo per esito finale, anticipata nella sua forma economica nel paragrafo 2.4.2 e qui quantificata puntualmente, conferma in modo netto la natura di traiettoria crescente del costo lungo il funnel del processo: una pratica che si chiude in fase bonaria costa in media 7,16 euro, mentre una pratica che approda a un incasso per via giudiziale ne costa in media 278,45 euro – un moltiplicatore di circa 39 volte fra l'esito più economico e quello più oneroso. Fra questi due estremi si colloca una progressione pressoché monotona: 28,24 euro per un incasso dopo la sola costituzione in mora, 44,59 euro per una rateizzazione completata, 118,67 euro per un incasso ottenuto dopo la sospensione della fornitura.

Questa gradazione, del tutto coerente con il numero di attività attraversate da ciascun percorso, costituisce la base quantitativa su cui si fonda l'analisi costo-efficacia del paragrafo successivo.

8.3 Analisi costo-efficacia del recupero crediti

8.3.1 Confronto puntuale tra costo di gestione della pratica ed effettivo importo incassato per esito

Il portafoglio complessivo dei 5.315 casi completi ammonta a 2.907.190,60 euro di insoluto iniziale. Assumendo – coerentemente con la codifica dell'attributo esito_finale – che gli esiti riconducibili a un incasso (in fase bonaria, dopo mora, dopo reclamo, dopo sospensione, da recupero esterno, per via giudiziale) e la rateizzazione completata comportino il recupero dell'intero importo insoluto, mentre gli esiti di stralcio a perdita e di recupero giudiziale senza esito comportino un recupero nullo, il tasso di recupero complessivo del portafoglio risulta pari al 91,79 per cento (2.668.561,80 euro recuperati), a fronte di un costo operativo e legale complessivo di 288.254,95 euro: un'incidenza del

costo sul recuperato del 10,8 per cento e sull'insoluto totale del 9,92 per cento. Il risultato netto complessivo dell'attività di credit management sul portafoglio osservato – importo recuperato al netto dei costi sostenuti – ammonta a 2.380.306,85 euro.

Il rapporto fra costo medio e importo insoluto medio, riportato per ciascun esito nella Tabella 8.3.1, individua con precisione dove il processo restituisce il miglior rendimento economico e dove, al contrario, l'efficienza si riduce: un incasso in fase bonaria costa l'1,3 per cento dell'importo recuperato, contro il 20,2 per cento di un incasso ottenuto dopo sospensione e il 32,0 per cento di una pratica che si conclude con uno stralcio a perdita – quest'ultima cifra da leggere come perdita totale, poiché a un recupero nullo si somma comunque il costo, non irrilevante, sostenuto per arrivare a tale conclusione.

Esito finale	Insoluto medio	Costo medio	Recuperato medio	Costo / insoluto
Incassato in fase bonaria	564,30 €	7,16 €	564,30 €	1,3%
Incassato dopo costituzione in mora	515,93 €	28,24 €	515,93 €	5,5%
Rateizzazione completata	635,75 €	44,59 €	635,75 €	7,0%
Incassato dopo reclamo	458,54 €	50,43 €	458,54 €	11,0%
Incassato per via giudiziale	2.160,26 €	278,45 €	2.160,26 €	12,9%
Incassato dopo sospensione	588,26 €	118,67 €	588,26 €	20,2%
Incassato da recupero esterno	423,27 €	101,91 €	423,27 €	24,1%
Stralcio a perdita	321,91 €	103,16 €	0,00 €	32,0% (perdita totale)
Recupero giudiziale senza esito	1.611,84 €	273,85 €	0,00 €	17,0% (perdita totale)

Tabella 8.3.1 – Confronto fra importo insoluto medio, costo medio e importo recuperato medio per esito finale.

Un dato colpisce in particolare: le pratiche con esito Incassato per via giudiziale, pur presentando il costo medio unitario più elevato in assoluto (278,45 euro), mostrano anche l'importo insoluto medio di gran lunga più alto (2.160,26 euro, quasi quattro volte la media di portafoglio), risultando in un rapporto costo/insoluto contenuto al 12,9 per cento – inferiore a quello dell'incasso dopo sospensione.

Il percorso giudiziale, per quanto il più oneroso in valore assoluto, è economicamente giustificato dalla dimensione dei crediti che vi transitano: è un esito riservato, nella pratica osservata, ai crediti di importo più elevato, per i quali il costo del recupero resta proporzionalmente contenuto.

8.4 Mappatura e identificazione dei percorsi antieconomici

8.4.1 Individuazione dei percorsi in cui i costi operativi/legali superano il valore del credito insoluto

Confrontando puntualmente, caso per caso, il costo di gestione con l'importo insoluto di partenza, si individuano 417 pratiche (7,85 per cento del sotto-log) in cui il costo operativo e legale supera l'importo che la pratica stessa mira a recuperare: un percorso strutturalmente antieconomico, indipendentemente dal suo esito finale. Sorprendentemente, la maggioranza di questi casi (185 su 417) si conclude comunque con un incasso dopo sospensione, e altri 39 con un incasso da recupero esterno: pratiche che, pur recuperando l'intero credito, lo fanno a un costo di gestione superiore al credito stesso, tipicamente perché relative a importi insoluti di fascia bassa (§ 5.2.2) che intraprendono comunque l'intero percorso di sospensione e riattivazione, con il suo costo fisso di circa 82 euro (Tabella 8.3.1) indipendente dall'entità del credito. Sui 131 casi antieconomici che si concludono con uno stralcio a perdita, il costo si somma alla perdita del credito stesso.

Il sottoinsieme più critico di questa categoria è tuttavia quello, distinto ma parzialmente sovrapposto, dei 577 casi con esito di recupero nullo (536 stralci a perdita e 41 recuperi giudiziali senza esito): la totalità di queste pratiche, senza eccezioni, transita per l'attività Affido a Recupero Crediti, generando un costo aggregato di fase legale (risoluzione del contratto, affido e, ove applicabile, decreto ingiuntivo) di 27.751,86 euro – una perdita netta e certa, poiché nessuno di questi casi restituisce alcun importo a fronte del costo sostenuto.

Nel loro insieme, i 417 percorsi antieconomici individuati in questo paragrafo generano una perdita netta aggiuntiva di 26.456,93 euro rispetto a un ipotetico scenario in cui il processo si fosse arrestato al primo segnale di irrecuperabilità economica, un ordine di grandezza confrontabile con il costo aggregato della fase legale sui casi a recupero nullo.

8.5 Proposte operative di reingegnerizzazione e raccomandazioni gestionali

8.5.1 Interventi di ottimizzazione sui colli di bottiglia e sulle rilavorazioni

Il costo delle rilavorazioni identificate nel capitolo 4 – il ciclo Gestione Reclamo ↔ Rettifica Fattura (§ 4.5.2) e le ripetizioni di Sollecito Bonario e Contatto Outbound Cliente – può ora essere quantificato in termini monetari. Le 1.756 istanze di Gestione Reclamo eccedenti la prima per ciascun caso, insieme alle 1.032 istanze di Rettifica Fattura generate dal medesimo ciclo, costano complessivamente 30.445,32 euro; i 5.975

solleciti bonari e i 2.016 contatti outbound ripetuti oltre il primo per pratica aggiungono rispettivamente 6.751,75 e 9.938,88 euro.

Nel complesso, la rilavorazione evitabile genera un costo stimato di 47.135,95 euro, pari al 16,4 per cento dell'intero costo operativo del processo: una quota rilevante, concentrata su un numero ristretto di pattern già mappati nel capitolo 4, che rappresenta il primo e più diretto obiettivo di un intervento di ottimizzazione. Le leve più coerenti con l'analisi organizzativa del paragrafo 5.4.2 sono due: un rafforzamento della risoluzione al primo contatto sul ciclo reclamo-rettifica, ad esempio abilitando il Back Office Fatturazione a intervenire direttamente sulla pratica senza restituirla all'Ufficio Reclami per la sola conferma finale; e un limite esplicito al numero di solleciti bonari ripetibili prima dell'escalation automatica alla fase successiva, in luogo della ripetizione libera osservata nel log (fino a sei solleciti per caso, § 3.4.2).

8.5.2 Misure di mitigazione del rischio regolatorio per le violazioni ad alto impatto (es. V6)

Il capitolo 6 ha mostrato come le 18 violazioni della regola V6 – sospensione della fornitura eseguita su un cliente con bonus sociale o non disalimentabile – costituiscano, nonostante la loro rarità, l'esito più critico dell'intero esercizio di conformance checking sul piano regolatorio e reputazionale. Il costo operativo diretto generato da questi 18 casi è contenuto (2.047,25 euro complessivi), ma la sua rilevanza economica reale risiede negli indennizzi automatici previsti dal TIMOE in caso di sospensione irregolare (§ 2.3.1) e nell'esposizione reputazionale di un'azienda che sospenda la fornitura a un cliente esplicitamente tutelato dalla regolazione.

Poiché l'analisi del paragrafo 6.4.2 non ha individuato un'origine imputabile a una specifica risorsa, la misura di mitigazione più efficace non è formativa ma sistemica: l'introduzione di un blocco applicativo che impedisca all'attività Richiesta Sospensione a Distributore di essere eseguita quando gli attributi bonus_sociale o cliente_non_disalimentabile del caso sono pari a SI, trasformando un controllo procedurale – la Verifica Cliente Non Disalimentabile già presente nel processo (§ 2.3.2) – in un vincolo strutturale del sistema informativo, non aggirabile dall'operatore.

8.5.3 Stima quantitativa dei benefici attesi (ROI, riduzione tempi di incasso ed efficientamento dei costi)

Una parte dei benefici discussi in questo paragrafo risulta già osservabile nei dati: il confronto fra il costo medio per pratica nel periodo antecedente e successivo al 1° aprile 2025 (capitolo 7) mostra una riduzione da 57,33 a 43,65 euro, pari al 23,85 per cento, trainata dalla combinazione di percorsi più brevi e di una minore incidenza di rilavorazione (§ 7.3.2) piuttosto che da una riduzione del costo unitario delle singole attività, che il log conferma essere sostanzialmente indipendente dal canale impiegato. È una prima evidenza, indipendente dalle proposte formulate in questo paragrafo, che interventi mirati sulla struttura del processo si traducono in un beneficio economico misurabile.

Applicando la stessa logica agli interventi proposti nei paragrafi 8.5.1 e 8.5.2 è possibile costruire una stima, necessariamente prudenziale, dei benefici attesi. Una riduzione del 50 per cento della rilavorazione evitabile quantificata nel paragrafo 8.5.1 – un obiettivo intermedio rispetto all'eliminazione completa, coerente con la natura in parte fisiologica di una quota di rilavorazione (un reclamo può richiedere più di un'iterazione anche in un processo ben disegnato) – libererebbe circa 23.600 euro sul sotto-log osservato, pari all'8,2 per cento del costo operativo complessivo.

Un secondo intervento, di natura predittiva piuttosto che strutturale, consisterebbe nell'utilizzare gli attributi di caso già disponibili nel log (importo insoluto, fascia, segmento, recidiva del cliente) per anticipare, con un modello di scoring applicato al momento della costituzione in mora, l'identificazione dei casi a più alta probabilità di concludersi con un recupero nullo: anche un'intercettazione parziale – ad esempio un terzo dei 577 casi individuati nel paragrafo 8.4.1 – prima dell'avvio della fase legale eviterebbe una quota proporzionale dei 27.751,86 euro di costo legale oggi sostenuto senza alcun recupero, un obiettivo che tuttavia richiede una validazione previsionale specifica, esulante dallo scopo descrittivo e diagnostico di questa tesi. I

l terzo beneficio, di natura non monetaria ma non per questo meno rilevante, è la riduzione del rischio regolatorio: l'eliminazione strutturale delle violazioni V6 proposta nel paragrafo 8.5.2 comporta un costo di implementazione contenuto a fronte di un'esposizione, per quanto rara, potenzialmente sproporzionata rispetto al valore economico dei singoli casi coinvolti.

Nel loro complesso, le tre linee di intervento proposte in questo capitolo – riduzione della rilavorazione, triage predittivo dei casi a rischio di recupero nullo, blocco strutturale delle sospensioni su clienti tutelati – non richiedono una revisione radicale del processo, la cui architettura di fondo si è dimostrata solida nei capitoli precedenti, ma un affinamento mirato dei suoi punti di maggiore frizione, individuati con precisione dall'analisi di Process Mining condotta in questa tesi e non altrimenti visibili attraverso i soli indicatori di sintesi che l'azienda utilizza correntemente.

8.5.4 Scenario di processo To-Be e stima del risparmio complessivo atteso

I tre interventi proposti nei paragrafi precedenti condividono un'origine comune, ciascuno risponde a un'inefficienza specifica, misurata sul log e non a un giudizio generico del processo, ma sono stati finora presentati separatamente. Per chiudere esplicitamente il ciclo che lega l'evidenza empirica alla proposta di reingegnerizzazione, questo paragrafo li ricompone in un unico scenario di processo To-Be e ne quantifica il beneficio economico complessivo atteso.

La Figura 8.5.4 rappresenta questo scenario a un livello di astrazione paragonabile al modello semplificato del capitolo 4 (BPMNS, § 4.1.1), non al dettaglio delle 19 attività del processo osservato: l'obiettivo non è produrre un nuovo modello discovery, ma visualizzarne in modo compatto dove, nel percorso già mappato nei capitoli precedenti, si collocano i tre interventi proposti.

Rispetto al processo As-Is, lo scenario introduce tre modifiche puntuali: un limite esplicito al numero di solleciti bonari e una risoluzione diretta del ciclo reclamo-rettifica in capo al Back Office Fatturazione (intervento 1, § 8.5.1); un blocco strutturale, non aggirabile dall'operatore, della sospensione della fornitura sui clienti con bonus sociale o non disalimentabili (intervento 3, § 8.5.2); e un punto di triage predittivo, collocato alla costituzione in mora, che instrada verso un percorso di recupero agevolato la quota di casi identificati a più alta probabilità di recupero nullo, anziché lasciarli proseguire lungo l'intero percorso di sospensione e affido legale (intervento 2, § 8.5.3).

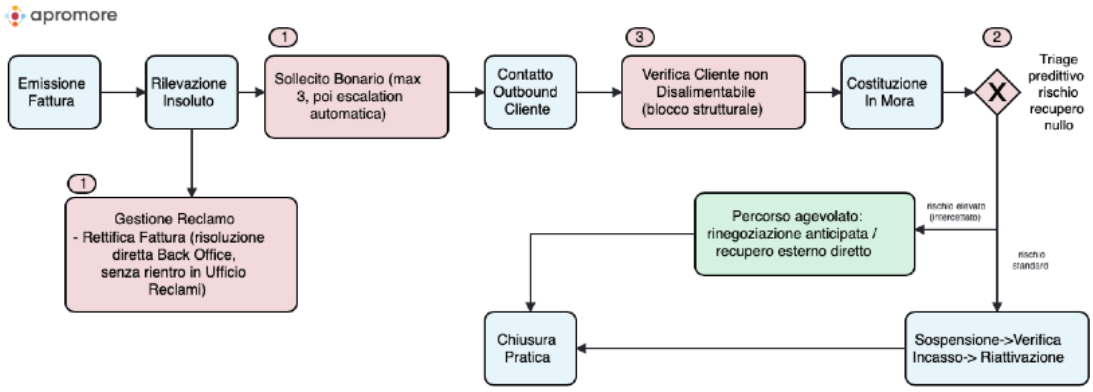


Figura 8.5.4 – Scenario di processo To-Be, con indicazione dei tre interventi di reingegnerizzazione proposti (da non confondere con il modello normativo To-Be del capitolo 6, relativo alla conformità regolatoria anziché all'efficienza operativa).

La Tabella 8.5.4 riepiloga, in un'unica lettura, la stima del beneficio economico atteso da ciascun intervento, applicata al medesimo sotto-log di 5.315 pratiche complete utilizzato nell'intero capitolo. Le prime due stime riprendono, senza modificarle, le ipotesi prudenziali già discusse nel paragrafo 8.5.1, e l'intercettazione di un terzo dei 577 casi a recupero nullo individuati nel paragrafo 8.4.2 prima dell'avvio della fase legale. La terza voce aggiunge il risparmio operativo diretto, contenuto ma certo, generato dal blocco strutturale delle 18 violazioni V6 (§ 8.5.2): l'evitare l'esecuzione delle attività di sospensione su questi casi ne elimina il costo diretto, a cui si affianca, senza poter essere sommato nella stessa unità di misura, il beneficio non monetario di riduzione del rischio regolatorio e reputazionale già discusso nel medesimo paragrafo.

Intervento Proposto	Base di calcolo	Risparmio stimato
1-Riduzione della rilavorazione (§8.5.1)	50% dei 47.135,95 € di rilavorazione evitabile (reclamo-rettifica, solleciti e contatti ripetuti)	≈ 23.600 €
2-Triage predittivo dei casi a rischio di recupero nullo (§ 8.5.3)	1/3 dei 27.751,86 € di costo di fase legale sui 577 casi a recupero nullo	≈ 9.250 €
3-Blocco strutturale delle violazioni V6 (§ 8.5.2)	Costo operativo diretto delle attività di sospensione sui 18 casi tutelati	≈ 2.050 €
Totale stimato	Sul costo operativo complessivo del sotto-log (288.254,95 €)	≈ 34.900 € (≈ 12,1%)

Tabella 8.5.4 – Stima prudenziale del risparmio economico complessivo atteso dallo scenario di processo To-Be, sul sotto-log di 5.315 pratiche complete.

Il risultato aggregato – circa 34.900 euro, pari al 12,1 per cento del costo operativo complessivo osservato sul sotto-log – va letto come una stima prudenziale e non come una previsione puntuale: ciascuna delle tre componenti eredita le ipotesi semplificative già dichiarate nel paragrafo 8.5.3 (una riduzione parziale, non totale, della rilavorazione; un tasso di intercettazione predittiva ipotizzato e non validato su un modello di scoring reale) e non tiene conto degli eventuali costi di implementazione dei tre interventi stessi, che esulano dallo scopo di questa tesi. Ciò che lo scenario stilizzato aggiunge rispetto alla trattazione separata dei tre paragrafi precedenti non è quindi la precisione della cifra finale, ma la dimostrazione che le inefficienze diagnosticate lungo l'intero lavoro – rilavorazione (capitolo 4), colli di bottiglia e code (capitolo 5), non conformità regolatoria (capitolo 6) – convergono in un numero di interventi limitato e reciprocamente indipendenti, il cui effetto economico congiunto è stimabile con lo stesso rigore metodologico impiegato per misurare lo stato attuale del processo.

Nel loro complesso, sintetizzato nella Tabella 8.5.4, le tre linee di intervento proposte in questo capitolo – riduzione della rilavorazione, triage predittivo dei casi a rischio di recupero nullo, blocco strutturale delle sospensioni su clienti tutelati – non richiedono una revisione radicale del processo, la cui architettura di fondo si è dimostrata solida nei capitoli precedenti, ma un affinamento mirato dei suoi punti di maggiore frizione, individuati con precisione dall'analisi di Process Mining condotta in questa tesi e non

altrimenti visibili attraverso i soli indicatori di sintesi che l'azienda utilizza correntemente.

Conclusioni

Sintesi del lavoro svolto e suo significato

Questa tesi ha applicato l'intero ciclo delle tecniche di Process Mining – preparazione del dato, discovery, analisi delle prestazioni, conformance checking, analisi del concept drift, valutazione economica – al processo di gestione della morosità di un venditore di energia elettrica e gas, integrando gli strumenti della piattaforma Apromore con una ricostruzione analitica indipendente condotta direttamente sui dati grezzi.

Il risultato più generale che ne emerge è che il processo osservato, per quanto disciplinato da una procedura aziendale chiaramente definibile e da un impianto normativo altrettanto preciso (capitolo 2), si comporta nella pratica in modo sensibilmente più variabile e meno lineare di quanto qualunque descrizione procedurale a priori lascerebbe intendere: oltre 1.500 varianti di percorso, delle quali il 71,3 per cento episodiche (capitolo 4); un tasso di non conformità del 9,5 per cento alle regole di tutela del cliente, concentrato per la quasi totalità su una singola causa temporale piuttosto che diffuso in modo uniforme (capitolo 6); un costo di gestione che cresce di quasi quaranta volte fra l'esito più economico e quello più oneroso (capitolo 8). È in questo scarto fra il processo atteso e il processo osservato – reso visibile e quantificabile solo dall'analisi sistematica del log, e non dalla sola conoscenza tacita degli operatori – che risiede il contributo principale del lavoro.

Un secondo risultato di rilievo riguarda la capacità dell'approccio adottato di isolare cause distinte di un medesimo fenomeno osservato. Il capitolo 7 ha mostrato come un miglioramento delle prestazioni temporalmente coincidente con un intervento di digitalizzazione potesse essere, in linea di principio, spiegato sia da tale intervento sia da un concomitante effetto di congestione del sistema; la verifica quantitativa della correlazione fra il work-in-progress e i tempi di attesa (§ 7.4) ha permesso di attribuire il miglioramento osservato prevalentemente al primo fattore, un esercizio di disaccoppiamento metodologico che difficilmente sarebbe stato possibile senza il ricorso a un'analisi temporale puntuale del log.

Un terzo risultato, di natura più propositiva che diagnostica, riguarda la chiusura del ciclo fra evidenza e intervento: il capitolo 8 non si limita a quantificare le inefficienze del processo osservato, ma le ricompone in uno scenario di processo To-Be – per quanto volutamente stilizzato – che integra i tre interventi proposti (riduzione della rilavorazione, triage predittivo dei casi a rischio di recupero nullo, blocco strutturale delle violazioni V6) e ne stima il beneficio economico congiunto in circa 34.900 euro, il 12,1 per cento del costo operativo osservato sul sotto-log (§ 8.5.4). È questo il contributo individuale che la tesi intende offrire oltre alla sola descrizione analitica del processo: non solo misurare lo scarto fra processo atteso e processo osservato, ma tradurlo in una proposta di intervento concreta e in una stima, per quanto prudenziale, del suo valore economico.

Limitazioni dei risultati presentati

I risultati di questa tesi sono soggetti a limitazioni di diversa natura, che è opportuno dichiarare esplicitamente: il log analizzato è un dataset costruito a fini didattici per riprodurre in modo realistico – ma non identico – il comportamento di un processo aziendale reale (§ 3.2.1); le conclusioni quantitative specifiche (percentuali di violazione, importi, tempi medi) non sono pertanto direttamente trasferibili a un contesto aziendale reale senza una nuova validazione, per quanto la metodologia impiegata per ottenerle lo sia pienamente.

Il secondo punto riguarda alcune soglie normative che sono state operazionalizzate in forma semplificata rispetto alla loro formulazione integrale nella regolazione ARERA – il preavviso minimo della regola V2, ad esempio, adotta un valore unico di venti giorni più tre giorni lavorativi in luogo della differenziazione reale fra clienti domestici in bassa tensione e altre tipologie (§ 2.2.1) – una scelta dichiarata e coerente con il dataset utilizzato, ma da tenere presente nell'eventuale confronto con la normativa nella sua accezione integrale. Inoltre, il ground truth impiegato nel capitolo 6 per la validazione del conformance checking è, per esplicita ammissione della sua stessa documentazione, un proxy costruito sulla presenza di un reclamo e non un audit indipendente delle violazioni realmente commesse (§ 6.5.1): le metriche di precisione e richiamo che ne derivano vanno lette alla luce di questo limite, come discusso nel medesimo paragrafo.

Infine, la valutazione economica del capitolo 8 assume, per gli esiti di incasso, il recupero dell'intero importo insoluto: un'approssimazione ragionevole data la struttura del log a disposizione, ma che non rende conto di eventuali recuperi parziali, di dilazioni non concluse regolarmente, o di costi aziendali indiretti non tracciati dall'attributo costo_attivita.

Analisi comparativa dei risultati

Il confronto fra i risultati ottenuti tramite la piattaforma Apromore e quelli ricostruiti in modo indipendente dai dati grezzi – condotto sistematicamente in ciascun capitolo della parte sperimentale – ha mostrato una coincidenza puntuale su decine di grandezze verificate (nodi e archi del modello di processo, frequenze delle varianti, statistiche descrittive), confermando l'affidabilità reciproca dei due approcci e, per estensione, la solidità metodologica dei risultati presentati.

Questo confronto sistematico si è rivelato particolarmente utile nell'ambito del conformance checking del capitolo 6, dove la traduzione delle regole normative in criteri di verifica applicabili al log richiede scelte implementative non banali, prima fra tutte l'esatta definizione di giorno lavorativo nel conteggio dei termini di preavviso la cui correttezza è stata validata attraverso la coerenza reciproca fra i due metodi di calcolo, a riprova di come anche in un contesto controllato la verifica incrociata resti indispensabile prima di trarre conclusioni quantitative.

Sul piano dei risultati sostantivi, la tesi conferma quanto la letteratura di Process Mining richiamata nel capitolo 1 anticipa in via generale a proposito dei processi amministrativi

ad alta variabilità: la presenza di una lunga coda di varianti episodiche (Van der Aalst, 2016), il compromesso strutturale fra leggibilità e fedeltà di un modello scoperto (Augusto et al., 2018), e la natura non stazionaria dei processi reali osservati su orizzonti temporali estesi (Bose et al., 2014) trovano, nel caso di studio specifico della morosità energetica, una conferma empirica puntuale e quantificata.

Indicazioni delle possibili applicazioni

I risultati e la metodologia sviluppati in questa tesi si prestano a diverse applicazioni, sia dirette sia prospettiche. Nell'immediato, le proposte operative del capitolo 8 – riduzione della rilavorazione sul ciclo reclamo-rettifica, blocco strutturale delle sospensioni su clienti tutelati, triage predittivo dei casi a rischio di recupero nullo – sono direttamente implementabili da un'azienda che disponga di un log strutturato in modo analogo a quello analizzato.

Su un orizzonte più ampio, la pipeline di analisi costruita in questa tesi – discovery, conformance checking, analisi delle prestazioni e valutazione economica, condotte in parallelo tramite piattaforma e tramite ricostruzione diretta – non è specifica del processo di morosità e può essere riapplicata, con adattamenti contenuti, ad altri processi amministrativi regolati della stessa azienda (fatturazione, gestione dei reclami, attivazione di nuove forniture) o di aziende operanti in altri settori regolati con dinamiche analoghe di tutela del cliente e di interazione con soggetti terzi esterni.

Infine, l'esercizio di disaccoppiamento fra concept drift e congestione condotto nel capitolo 7, per quanto sviluppato su un caso specifico, propone uno schema di analisi – la verifica di correlazione fra work-in-progress e tempi di attesa in prossimità di un intervento di processo – generalizzabile a qualunque valutazione ex-post di un progetto di reingegnerizzazione che si trovi, come frequentemente accade, a coincidere temporalmente con una fase di variazione dei volumi operativi.

Sviluppi futuri: dal Process Mining alla Process Intelligence

Il capitolo 1 ha introdotto, in un unico paragrafo (§ 1.8.6), la traiettoria evolutiva che la letteratura più recente definisce AI-Augmented BPM: l'integrazione fra le tecniche tradizionali di Process Enhancement e approcci di intelligenza artificiale avanzata, orientata a trasformare il Process Mining da strumento diagnostico a supporto operativo proattivo.

Questa tesi si colloca interamente nella fase diagnostica di tale traiettoria: discovery, conformance checking, analisi delle prestazioni e valutazione economica sono stati condotti come un esercizio ex-post, su un log chiuso e già completo. È opportuno, in chiusura, ipotizzare esplicitamente verso quali frontiere questo stesso lavoro potrebbe evolvere qualora la logica diagnostica qui applicata venisse resa continua e operativa – quella che la pratica industriale comincia a definire Process Intelligence: un'etichetta ancora priva di una definizione accademica univoca, ma che indica, nel suo uso più diffuso, la fusione fra process mining, task mining e automazione in un livello di

intelligenza operativa integrato nei sistemi gestionali stessi, anziché in un progetto di analisi separato e periodico come quello condotto in questa sede.

Una prima frontiera riguarda il conformance checking: il blocco strutturale proposto nel paragrafo 8.5.2 per le sole violazioni V6 potrebbe essere generalizzato a un motore di conformità a runtime, integrato nel sistema di credit management, capace di verificare ciascuna delle regole V1-V7 nel momento stesso in cui un'attività sta per essere eseguita, anziché rilevarne la violazione ex-post su un log già chiuso, come avvenuto in questa tesi (capitolo 6).

Una seconda frontiera, complementare, riguarda l'estensione del triage predittivo abbozzato nel paragrafo 8.5.3: il modello di scoring qui ipotizzato andrebbe addestrato e validato su dati storici reali per poi essere reintegrato nel processo come modulo di Predictive Process Monitoring (§ 1.8.5), capace di aggiornare la stima di rischio di ogni pratica a ogni nuovo evento. Il capitolo 7 ha però mostrato come il processo osservato non sia stazionario nel tempo: un simile modello resterebbe affidabile solo se accompagnato da un meccanismo di monitoraggio continuo del concept drift (Bose et al., 2014) e di ri-addestramento periodico, pena un decadimento silenzioso delle sue prestazioni predittive.

Una terza frontiera, più prospettica, riguarda l'accesso stesso all'analisi: l'intero impianto metodologico di questa tesi – dall'estrazione delle varianti alla profilazione delle non conformità – richiede oggi competenze tecniche specifiche e un progetto di analisi dedicato. L'evoluzione verso il Conversational Process Mining (Vidgof et al., 2023), già richiamata nel capitolo 1, lascia ipotizzare un futuro in cui un responsabile di credit management possa interrogare direttamente l'event log in linguaggio naturale – ad esempio chiedendo quali pratiche del segmento Business superino i sessanta giorni di attesa senza sospensione – ricevendo in risposta non il solo dato ma la sua traduzione operativa.

Infine, poiché il processo di morosità qui analizzato non vive isolato ma si interseca con la fatturazione e la gestione dei reclami, trattate in questa tesi come semplici attributi di caso (§ 3.3.2), un'estensione naturale è quella verso il Process Mining object-centric (van der Aalst, 2019), capace di rappresentare congiuntamente più processi collegati dagli stessi oggetti – il cliente, la fattura, la pratica di morosità – anziché analizzarne uno soltanto in isolamento. Queste tre direzioni non sostituiscono il contributo diagnostico e propositivo di questa tesi, ma ne indicano la naturale continuazione: dal misurare una tantum, a supporto di una singola decisione di reingegnerizzazione, al misurare in continuo, a supporto dell'operatività quotidiana.

Bibliografia

Aalst, W. M. P. van der. (2016). Process Mining: Data Science in Action (2ª ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4

Aalst, W. M. P. van der. (2019). Object-centric process mining: Dealing with divergence and convergence in event data. In P. Y. A. Ryan & S. N. Foley (A cura di), Software Engineering and Formal Methods (LNCS, vol. 11580, pp. 3–25). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30446-1_1

Aalst, W. M. P. van der. (2020). Academic view: Development of the process mining discipline. In L. Reinkemeyer (A cura di), Process Mining in Action: How Continuous Process Monitoring Can Transform Business (pp. 181–196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40172-6_21

Aalst, W. M. P. van der, Adriansyah, A., de Medeiros, A. K. A., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., Bose, R. P. J. C., van den Brand, P., Brandt, R., Burattin, A., Carmona, J., Luengo, M. C., Claes, J., De Weerdt, J., ... & Wynn, M. T. (2011). Process mining manifesto. In F. Daniel, K. Barkaoui, & S. Dustdar (A cura di), Business Process Management Workshops (LNBIP, vol. 99, pp. 169–194). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28108-2_19

Aalst, W. M. P. van der, Weijters, A. J. M. M., & Maruster, L. (2004). Workflow mining: Discovering process models from event logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 16(9), 1128–1142. https://doi.org/10.1109/TKDE.2004.47

Adriansyah, A., van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. P. (2011). Aligning observed and modeled behavior. In 2011 IEEE Ninth International Conference on Services Computing (pp. 340–347). IEEE. https://doi.org/10.1109/SCC.2011.88

ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. (2011). Testo Integrato delle condizioni di morosità nel settore del gas naturale (TIMG) (Deliberazione ARG/gas 99/11 e successivi aggiornamenti).

ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. (2013). Testo Integrato delle modalità applicative dei regimi di compensazione della spesa sostenuta dai clienti domestici disagiati (TIBEG) (Deliberazione 402/2013/R/com e successivi aggiornamenti).

ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. (2015). Testo Integrato delle condizioni di morosità nel settore dell'energia elettrica (TIMOE) (Allegato A alla Deliberazione 258/2015/R/com e successivi aggiornamenti).

Augusto, A., Conforti, R., Dumas, M., La Rosa, M., & Maggi, F. M. (2018). Split Miner: Discovering accurate and deadlock-free BPMN process models from event logs. Knowledge and Information Systems, 56(1), 251–284. https://doi.org/10.1007/s10115-017-1142-x

Augusto, A., Conforti, R., Dumas, M., La Rosa, M., & Polyvyanyy, A. (2019). Split Miner: Automated discovery of accurate and simple business process models from event logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 31(11), 2061–2074. https://doi.org/10.1109/TKDE.2018.2875748

Bose, R. P. J. C., van der Aalst, W. M. P., Zliobaite, I., & Pechenizkiy, M. (2014). Dealing with concept drifts in process mining. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 25(1), 154–171. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2013.2278313

CIPE – Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica. (1979). Delibera n. 91 del 16 novembre 1979: Piano di Emergenza per la Sicurezza del Servizio Elettrico (PESSE).

Di Francescomarino, C., Ghidini, C., Maggi, F. M., & Milani, F. (2018). Predictive process monitoring methods: Which one suits me best? In Business Process Management (LNCS, vol. 11080, pp. 462–479). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98648-7_27

Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). Fundamentals of Business Process Management (2ª ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4

Fahrenkrog-Petersen, S. A., Kabierski, M., Mannhardt, F., van der Aalst, W. M. P., & Weidlich, M. (2021). PRIPEL: Privacy-preserving event log publishing including time attributes. Information Systems, 99, Article 101734. https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101734

Galanti, R., de Leoni, M., Monaro, M., Navarin, N., Marazzi, A., Di Stasi, B., & Maldera, S. (2023). An explainable decision support system for predictive process analytics. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 120, Article 105904. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105904

Glebova, A. (2024). Process Mining in Practice: Order-to-Cash and Procure-to-Pay Analysis [Materiale didattico/Note del corso]. University of Tartu.

Günther, C. W., & van der Aalst, W. M. P. (2007). Fuzzy mining: Adaptive process simplification based on multi-perspective metrics. In G. Alonso, P. Dadam, & M. Rosemann (A cura di), Business Process Management (LNCS, vol. 4714, pp. 328–343). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75183-0_24

IEEE Computer Society. (2016). IEEE Standard for eXtensible Event Stream (XES) for Achieving Interoperability in Event Logs and Event Streams (IEEE Std 1849-2016). IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2016.7740858

Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. Electronic Markets, 31(3), 685–695. https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2

La Rosa, M., Reijers, H. A., van der Aalst, W. M. P., Dijkman, R. M., Mendling, J., Dumas, M., & García-Bañuelos, L. (2011). APROMORE: An advanced process model repository. Expert Systems with Applications, 38(6), 7029–7040. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.012

Leemans, S. J. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. P. (2013). Discovering block-structured process models from event logs—A robust algorithm. In J. M. Colom & J. Desel (A cura di), Application and Theory of Petri Nets and Concurrency(LNCS, vol. 7927, pp. 311–329). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38697-8_17

Leno, V., Dumas, M., Maggi, F. M., & La Rosa, M. (2021). Multi-perspective process discovery from Robotic Process Automation logs. Data & Knowledge Engineering, 134, Article 101900. https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101900

Nerode, A. (1958). Linear automaton transformations. Proceedings of the American Mathematical Society, 9(4), 541–544.

Petri, C. A. (1962). Kommunikation mit Automaten [Tesi di dottorato]. Universität Bonn.

Reinkemeyer, L. (A cura di). (2020). Process Mining in Action: How Continuous Process Monitoring Can Transform Business. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40172-6

Rozinat, A., & van der Aalst, W. M. P. (2006). Decision mining in ProM. In S. Dustdar, F. Fiadeiro, & A. Sheth (A cura di), Business Process Management (LNCS, vol. 4102, pp. 420–425). Springer. https://doi.org/10.1007/11841760_33

Rozinat, A., & van der Aalst, W. M. P. (2008). Conformance checking of processes based on monitoring real behavior. Information Systems, 33(1), 64–95. https://doi.org/10.1016/j.is.2007.07.001

Teinemaa, I., Dumas, M., La Rosa, M., & Maggi, F. M. (2019). Predictive business process monitoring with standardized temporal features. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 31(8), 1413–1433. https://doi.org/10.1109/TKDE.2018.2864222

Vidgof, M., Bachhofner, S., & Mendling, J. (2023). Large language models for business process management: Opportunities and challenges. arXiv preprint arXiv:2304.04359. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.04359