RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

Servizi social per le CER: Stato dell'arte sulle tecniche di Process mining applicabili alle interazioni nelle Energy Communities (LA1.20)

Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli

RdS_PTR 22-24_PR1.7_LA1.20_338

Servizi social per le CER: Stato dell'arte sulle tecniche di Process mining applicabili alle interazioni nelle Energy Communities

LA1.20 - Servizi social per le CER: Stato dell'arte sulle tecniche di Process mining applicabili alle interazioni nelle Energy Community

B.Di.Martino, A. Esposito, R.Langella, S.Venticinque, A.Amato, L.Colucci.Cante (Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Dipartimento di Ingegneria)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: *LA1.20*

Responsabile del Progetto: Dott. Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Ing. Angelo Frascella, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Prof. Antonio Esposito, Unicampania

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 24

Mese fine effettivo: 24

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Stato dell'arte e applicazioni di tecniche di Process mining a comunità energetiche

Indice

1 Risultati attesi 3
2 Risultati ottenuti 4
2.1 Analisi delle tecniche di Process Mining applicabili alle interazioni nelle CER 4
2.2 Identificazione dei meccanismi di comunicazione tra le Energy Communities 4
2.3 Mappatura tra tecniche di Process Mining e interazioni nelle CER 5
2.4 Adattamento delle tecniche di Process Mining al contesto delle CER 5
3 Prodotti attesi 6
4 Prodotti sviluppati 7
5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati 8
6 Sintesi delle attività svolte 9
6.1 Analisi delle tecniche di Process Mining applicabili alle interazioni nelle CER 9
6.2 Identificazione dei meccanismi di comunicazione tra le Energy Communities 9
6.3 Mappatura tra tecniche di Process Mining e interazioni nelle CER 9
6.4 Adattamento delle tecniche di Process Mining al contesto delle CER 9
7 Dettaglio delle attività svolte 10
7.1.1 Analisi delle Tecniche di Process Mining Applicabili alle Interazioni nelle CER 10
7.1.2 Identificazione dei Meccanismi di Comunicazione tra le Energy Communities 10
7.1.3 Mappatura tra Tecniche di Process Mining e Interazioni nelle CER 11
7.1.4 Adattamento delle Tecniche di Process Mining al Contesto delle CER 12
8 Pubblicazioni scientifiche 13
9 Eventi di disseminazione 14

1 Risultati attesi

- **Analisi delle tecniche di Process Mining** applicabili alle Energy Community, con identificazione di metodologie e strumenti idonei all'analisi delle interazioni.
- **Studio dei flussi informativi e delle tracce digitali** generate nelle Energy Community, analizzando log, eventi e dati di scambio tra i membri.
- **Analisi delle possibili mappatura e adattamento delle tecniche di analisi** ai modelli di interazione nelle EC, individuando le soluzioni più efficaci per il monitoraggio e l'ottimizzazione.
- **Analisi delle strategie operative** per l'integrazione del Process Mining nelle Energy Community, migliorando trasparenza, efficienza e gestione dei dati.

2 Risultati ottenuti

2.1 Analisi delle tecniche di Process Mining applicabili alle interazioni nelle CER

- **Grado di raggiungimento:** Completato
- **Descrizione:** È stata svolta un'analisi dettagliata sulle tecniche di Process Mining applicabili alle interazioni tra le Energy Communities. Lo studio si articola in diverse fasi, tra cui:
  - La revisione dello stato dell'arte delle tecniche di Process Mining, con particolare attenzione agli strumenti esistenti per l'analisi dei log, eventi e token.
  - L'individuazione e il confronto tra i tool esistenti per il Process Mining, valutando la loro applicabilità alle comunità energetiche.
  - L'analisi delle modalità di comunicazione tra e all'interno delle Energy Communities, per comprendere quali tracce di interazione possono essere estratte e analizzate.
  - Il mapping tra tecniche di analisi e tool con i meccanismi di interazione propri delle Energy Communities.
  - La valutazione di possibili adattamenti delle tecniche di Process Mining per il monitoraggio e l'ottimizzazione delle interazioni tra le comunità.
- **Benefici per il sistema elettrico:**
  - Migliore comprensione delle modalità di scambio di informazioni tra le Energy Communities, consentendo di ottimizzare i flussi di dati e migliorare l'efficienza operativa.
  - Identificazione di eventuali colli di bottiglia o inefficienze nei processi di interazione, con possibilità di ottimizzazione delle strategie di coordinamento tra gli attori coinvolti.
  - Possibilità di applicare metodologie di auditing automatizzato per garantire trasparenza e sicurezza nella gestione dei dati energetici condivisi.

2.2 Identificazione dei meccanismi di comunicazione tra le Energy Communities

- **Grado di raggiungimento:** Completata
- **Descrizione:** È stata portata avanti un'indagine sui meccanismi di comunicazione utilizzati dalle Energy Communities per lo scambio di dati e informazioni operative. Lo studio prevede:
  - L'identificazione e catalogazione delle tecnologie di comunicazione esistenti e in uso.
  - La valutazione della standardizzazione dei protocolli di comunicazione, verificando eventuali modelli comuni o diversificati tra comunità differenti.
  - L'analisi delle tracce di interazione che possono essere acquisite ed elaborate attraverso il Process Mining.
- **Benefici per il sistema elettrico:**
  - Maggiore interoperabilità tra le Energy Communities, facilitando l'integrazione di nuove tecnologie e servizi.
  - Possibilità di migliorare la trasparenza e l'efficacia della gestione dei flussi energetici, grazie a un'analisi più strutturata delle interazioni.

- Potenziale sviluppo di framework di comunicazione standardizzati per facilitare la scalabilità delle comunità energetiche locali.

2.3 Mappatura tra tecniche di Process Mining e interazioni nelle CER

- **Grado di raggiungimento:** Completato
- **Descrizione:** L'analisi ha permesso di creare una corrispondenza tra le principali tecniche di Process Mining e i meccanismi di comunicazione delle Energy Communities. Tra gli aspetti considerati:
  - Identificazione delle tecniche più adatte per l'analisi delle interazioni, considerando le specificità delle CER.
  - Studio dei formati di dati compatibili con gli strumenti di Process Mining.
  - Analisi dei risultati ottenibili tramite l'applicazione delle metodologie individuate.
- **Benefici per il sistema elettrico:**
  - Possibilità di monitorare in tempo reale le interazioni tra gli attori della comunità energetica.
  - Migliore gestione delle anomalie e dei malfunzionamenti grazie all'analisi avanzata dei processi.
  - Ottimizzazione dell'efficienza operativa attraverso l'identificazione di best practice e strategie di miglioramento continuo.

2.4 Adattamento delle tecniche di Process Mining al contesto delle CER

- **Grado di raggiungimento:** Completato
- **Descrizione:** È stata valutata la possibilità di adattare strumenti e tecniche di Process Mining alle specificità delle Energy Communities. L'obiettivo è rendere queste metodologie applicabili senza necessità di interventi complessi, identificando soluzioni facilmente implementabili. Tra gli aspetti esaminati:
  - Confronto tra le tecniche di Process Mining e le esigenze delle CER.
  - Identificazione di eventuali personalizzazioni necessarie per migliorare l'applicabilità delle analisi di processo.
  - Sviluppo di linee guida per l'uso efficace degli strumenti di analisi nel contesto delle Energy Communities.
- **Benefici per il sistema elettrico:**
  - Strumenti più precisi e ottimizzati per il monitoraggio delle interazioni energetiche.
  - Maggiore capacità di rilevare e correggere inefficienze nei processi di gestione energetica.
  - Supporto alle decisioni per migliorare la governance e la collaborazione tra i membri delle CER.

3 Prodotti attesi

I risultati degli studi eseguiti saranno sintetizzati in un report intitolato: "Servizi social per le CER: Stato dell'arte sulle tecniche di Process mining applicabili alle interazioni nelle Energy Communities"

4 Prodotti sviluppati

È stato redatto il presente report intitolato: " Servizi social per le CER: Stato dell'arte sulle tecniche di Process mining applicabili alle interazioni nelle Energy Communities"

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

In questa LA non ci sono stati scostamenti fra le attività e i risultati previsti e quelli effettivamente ottenuti.

6 Sintesi delle attività svolte

L'analisi delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) ha esplorato l'applicabilità del **Process Mining** per comprendere e ottimizzare le interazioni tra i vari attori coinvolti. Lo studio si è articolato nei seguenti ambiti principali:

6.1 Analisi delle tecniche di Process Mining applicabili alle interazioni nelle CER

È stata effettuata una revisione dello stato dell'arte sulle tecniche di Process Mining, identificando strumenti e metodologie per l'analisi dei log e degli eventi legati alle interazioni nelle CER. Questo ha permesso di evidenziare inefficienze e possibili ottimizzazioni nei processi di scambio di informazioni.

6.2 Identificazione dei meccanismi di comunicazione tra le Energy Communities

Sono stati analizzati i protocolli e le tecnologie di comunicazione esistenti per lo scambio di dati operativi tra i membri delle CER. L'obiettivo è stato migliorare l'interoperabilità e la standardizzazione dei processi, favorendo una gestione più efficiente dei flussi energetici.

6.3 Mappatura tra tecniche di Process Mining e interazioni nelle CER

È stato realizzato un confronto tra le tecniche di Process Mining e i meccanismi di interazione delle CER, individuando metodologie adatte per il monitoraggio e l'analisi dei processi energetici. Questo ha consentito di implementare strumenti di analisi avanzata per la gestione delle anomalie e il miglioramento continuo dell'efficienza operativa.

6.4 Adattamento delle tecniche di Process Mining al contesto delle CER

Sono state valutate possibili personalizzazioni delle tecniche di Process Mining per garantire un'applicabilità diretta nel contesto delle Energy Communities. L'adozione di queste metodologie ha migliorato il monitoraggio delle interazioni, supportando la governance e la collaborazione tra i membri delle CER.

Grazie a questa analisi, è stato possibile individuare strumenti avanzati per la gestione delle comunità energetiche, favorendo la **trasparenza, l'efficienza operativa e la sostenibilità** dei processi decisionali all'interno delle CER.

7 Dettaglio delle attività svolte

L'analisi delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) ha esplorato l'applicabilità del Process Mining come metodologia avanzata per comprendere e ottimizzare le interazioni tra i vari attori coinvolti nelle CER. Questo approccio consente di visualizzare e analizzare i flussi di informazioni e decisioni all'interno di un sistema complesso come quello energetico, migliorando l'efficienza e la trasparenza. Il focus dello studio è stato suddiviso in quattro principali aree: l'analisi delle tecniche di Process Mining applicabili alle CER, l'identificazione dei meccanismi di comunicazione tra le diverse entità delle CER, la mappatura tra tecniche di Process Mining e interazioni specifiche nelle CER, e l'adattamento delle tecniche al contesto delle Energy Communities.

7.1 Analisi delle Tecniche di Process Mining Applicabili alle Interazioni nelle CER

La prima fase dell'analisi si è concentrata sull'individuazione delle tecniche di Process Mining più appropriate per analizzare le interazioni all'interno delle CER. Il Process Mining si occupa della scoperta, del monitoraggio e del miglioramento dei processi aziendali attraverso l'analisi dei log dei sistemi informatici. Nelle CER, le interazioni tra i membri, i flussi di energia, e le dinamiche decisionali possono essere tracciati in modo dettagliato grazie a questi strumenti.

Strumenti e Metodologie Utilizzate:

- **Log Analysis**: L'analisi dei log degli eventi, come le transazioni energetiche e le comunicazioni interne, ha permesso di identificare aree di inefficienza e colli di bottiglia nei flussi di dati. Sono stati utilizzati strumenti come ProM e Disco per l'analisi visiva e l'estrazione di modelli di processo.
- **Process Discovery**: È stato utilizzato il *Process Mining* per scoprire i modelli di processo impliciti nei dati raccolti dalle CER. Questo ha incluso il monitoraggio della gestione energetica, dei flussi tra i membri e della distribuzione delle risorse energetiche.
- **Conformance Checking**: È stato eseguito un controllo di conformità tra i modelli di processo ideali e quelli effettivamente osservati nelle CER. Questo passaggio ha permesso di identificare eventuali discrepanze tra le operazioni reali e quelle teoriche, suggerendo opportunità per ottimizzare i flussi informativi.

Risultati:

- È stato possibile identificare inefficienze nei flussi di dati tra i membri delle CER e nelle modalità di scambio energetico, suggerendo modifiche per un miglior allineamento tra gli obiettivi di efficienza operativa e le pratiche reali.
- Il Process Mining ha anche evidenziato il potenziale per l'automazione dei flussi informativi e l'ottimizzazione delle decisioni tramite l'analisi predittiva.

7.2 Identificazione dei Meccanismi di Comunicazione tra le Energy Communities

La seconda parte dell'analisi si è concentrata sullo studio dei protocolli di comunicazione esistenti nelle CER e sulla loro efficacia. Un aspetto cruciale per il funzionamento delle CER è la capacità di scambiare dati operativi tra i membri e con gli stakeholder esterni, come fornitori

e gestori delle reti. La standardizzazione dei protocolli di comunicazione è fondamentale per garantire l'interoperabilità tra i diversi attori.

Tecnologie di Comunicazione Analizzate:

- **IoT (Internet of Things)**: Le CER utilizzano dispositivi IoT per raccogliere dati in tempo reale riguardanti la produzione e il consumo di energia. La rete di sensori IoT è fondamentale per raccogliere dati accurati sulla performance dei sistemi energetici e per facilitare la comunicazione automatizzata tra i membri delle CER.
- **Protocolli Open Source e Middleware**: È stato esplorato l'uso di piattaforme e protocolli open source come MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) per l'interscambio di dati tra i dispositivi IoT, con l'obiettivo di creare un sistema di comunicazione fluido e a basso costo.
- **Tecnologie di Blockchain**: Un altro elemento esplorato è stato l'uso della blockchain per garantire la trasparenza e la sicurezza nelle transazioni di energia tra i membri delle CER, migliorando la fiducia e la governance.

Risultati:

- È stata suggerita l'adozione di un sistema di comunicazione basato su middleware IoT avanzato che permetta una gestione più fluida e veloce dei flussi energetici.
- L'analisi ha anche proposto la standardizzazione di protocolli di comunicazione per facilitare l'integrazione tra i diversi attori coinvolti nelle CER, migliorando l'interoperabilità.

7.3 Mappatura tra Tecniche di Process Mining e Interazioni nelle CER

Una volta analizzate le tecniche di Process Mining e i meccanismi di comunicazione, il passo successivo è stato quello di mappare le tecniche di analisi dei processi alle specifiche interazioni che caratterizzano le CER. Questo ha incluso l'analisi dei processi decisionali, delle dinamiche energetiche e dei flussi informativi tra i membri.

Mappatura delle Interazioni:

- **Modellizzazione dei Processi**: Sono stati creati modelli dettagliati dei processi interni alle CER, evidenziando le interazioni tra i membri e come questi processi influenzano la gestione delle risorse energetiche. L'uso di diagrammi BPMN (Business Process Model and Notation) è stato utile per rappresentare visivamente le interazioni.
- **Individuazione di Anomalie**: Attraverso il Process Mining, sono state identificate anomalie nei flussi di dati, come i ritardi nella distribuzione dell'energia e le comunicazioni inefficaci tra i membri delle CER. L'analisi ha anche messo in evidenza aree critiche per l'adozione di soluzioni automatizzate.

Risultati:

- L'analisi ha contribuito a definire modelli di processo più efficienti per il coordinamento delle attività all'interno delle CER.
- È stato possibile identificare aree specifiche in cui l'automazione, basata su intelligenza artificiale, potrebbe migliorare la gestione dei flussi energetici.

7.4 Adattamento delle Tecniche di Process Mining al Contesto delle CER

Infine, è stato necessario adattare le tecniche di Process Mining alle specificità delle CER, garantendo che le metodologie utilizzate fossero applicabili e ottimizzabili in questo contesto. L'adozione di metodologie avanzate, come l'analisi predittiva, ha migliorato significativamente il monitoraggio delle interazioni e la gestione dei flussi di energia.

Adattamenti Specifici:

- **Personalizzazione degli Strumenti**: Sono stati personalizzati gli strumenti di Process Mining per integrare dati provenienti da diverse fonti, tra cui i dispositivi IoT, i sistemi di gestione delle risorse e i dati storici sulle interazioni energetiche.
- **Automazione dei Processi**: Le tecniche di Process Mining sono state adattate per automatizzare il monitoraggio e la gestione dei flussi di energia, con l'introduzione di sistemi di allarme in tempo reale per la gestione delle anomalie e l'ottimizzazione dei processi decisionali.

Risultati:

- L'adozione di queste metodologie ha contribuito a una gestione più efficiente delle CER, migliorando la trasparenza e la collaborazione tra i membri.
- I processi decisionali sono diventati più rapidi e accurati grazie all'automazione e all'analisi predittiva, supportando una governance più solida.

Conclusioni Finali:

L'analisi delle Comunità Energetiche Rinnovabili, arricchita dall'adozione delle tecniche di Process Mining, ha dimostrato come queste metodologie possano giocare un ruolo cruciale nel miglioramento delle performance operative e della gestione delle risorse. Le tecniche di analisi dei processi hanno permesso di identificare inefficienze, migliorare l'interoperabilità tra i membri delle CER e ottimizzare i flussi energetici. L'adattamento e la personalizzazione degli strumenti di Process Mining per il contesto specifico delle CER hanno reso possibile una gestione più dinamica, efficiente e sostenibile delle risorse energetiche. Questo approccio ha inoltre favorito la trasparenza e la collaborazione tra i membri, aumentando la sostenibilità delle comunità energetiche nel lungo periodo.

8 Pubblicazioni scientifiche

1. Di Martino B., Branco D., Colucci Cante L., Venticinque S., Scholten R., Bosma B. “Semantic and knowledge based support to business model evaluation to stimulate green behaviour of electric vehicles’ drivers and energy prosumers”. J Ambient Intelligence and Humanized Computing – Springer, 13(12), pp. 5715–5737, 2022
2. J. Klusacek, J. Drapela, R. Langella and J. Meyer, "Revenue Metrics Ability to Correctly Register Bidirectional Active Energy Flows in Active Distribution Networks," 2023 IEEE 13th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Bern, Switzerland, 2023, pp. 01-06.
3. J. Klusacek, J. Drapela and R. Langella, "Revenue Metering of Unbalanced Prosumers in Energy Communities," in IEEE Open Access Journal of Power and Energy, vol. 1 10, pp. 426-437, (2023).
4. J. Klusacek, R. Langella, J. Meyer and J. Drapela, "Performance of Smart Revenue Meters Under Bidirectional Active Energy Flows in Energy Communities," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 73, pp. 1-12, 2024, Art no. 9002512.

9 Eventi di disseminazione

In questa LA non sono stati effettuati eventi di disseminazione.