



ENERGY METERING E ARC DETECTION:
UN SISTEMA INNOVATIVO PER IL MONITORAGGIO
DELL'INTERAZIONE PANTOGRAFO – LINEA DI CONTATTO

21/05/2026

Domenico Giordano, Davide Signorino - INRIM

Ivano Bresola, Lorenzo De Donato - Secheron Hasler Italia

HASLERRail

Sécheron Hasler GROUP

Smart. Safe. Swiss.

INRiM
ISTITUTO NAZIONALE
DI RICERCA METROLOGICA

Agenda

- Il progetto Haslerrail – INRiM e la sperimentazione TRENORD
- La tecnica innovativa proposta: brevetto T.R.A.E.
- Primi risultati e considerazioni dopo i rilievi
- Utilizzo di nuove tecniche di analisi basate su IA
- Sviluppi futuri e conclusioni



Il progetto HASLER – INRIM- TRENORD

Uno dei progetti pilota in Europa iniziato a metà del 2024 con i seguenti obiettivi:

1. **Migliorare** la comprensione e la gestione dei fenomeni di arco elettrico sui pantografi delle linee aeree in corrente continua.
2. **Dimostrare** la fattibilità di installare in modo permanente un sistema di rilevamento degli archi elettrici a bordo dei treni.
3. **Raccogliere** un gran numero di forme d'onda registrate associate agli archi per consentire futuri sviluppi che coinvolgano la tecnologia AI per attività di manutenzione avanzate
4. **Identificare** le tipologie di eventi di arco e metterle in relazione con eventi di sistema esterni o degrado di sottosistemi utili per la manutenzione predittiva (il più delle volte gli eventi di arco sono “fisiologici”).



Disponibilità della loco E464 per test di lungo periodo



Fornitura di brevetti, competenze tecniche, nuovi algoritmi per la catalogazione degli eventi



Fornitura di soluzioni avanzate che integrano algoritmi di rilevamento su apparecchiature ferroviarie EMS standard

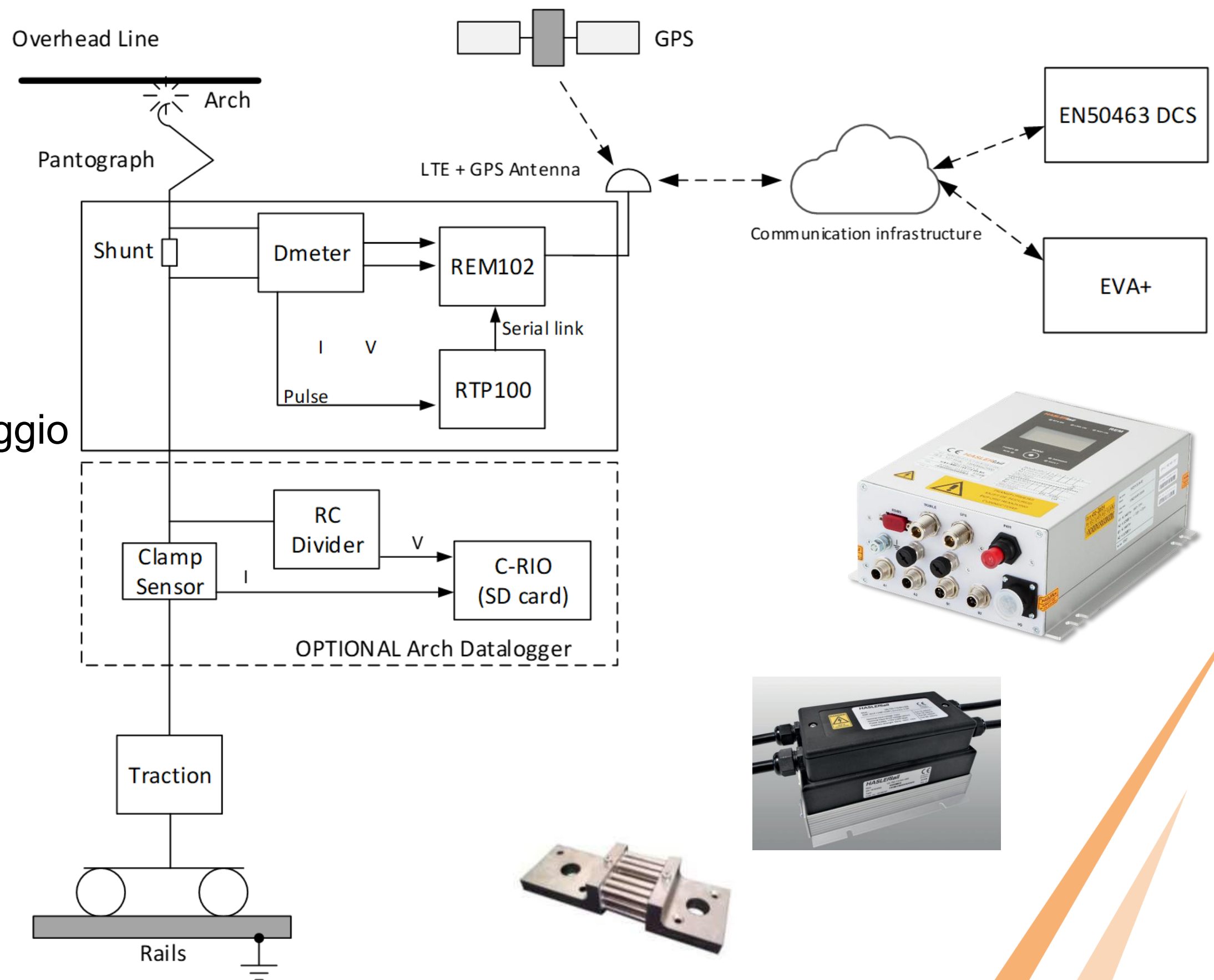
Schema a blocchi del sistema:

Dispositivi a bordo:

- Sensore DMeter con shunt
- REM102 Energy Meter
- GNSS/4G antenna
- RTP100 oscillografoturbografo

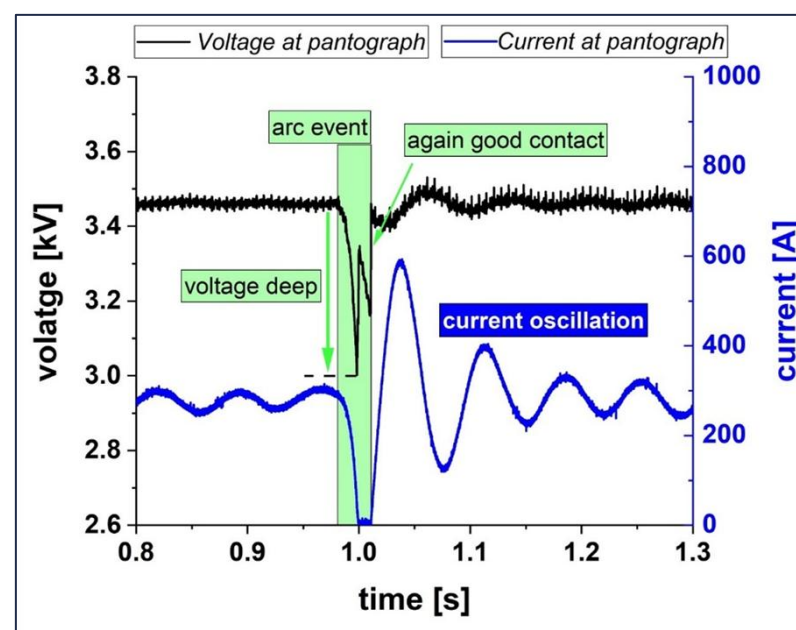
Sistemi a terra:

- DCS Data Collecting System
- EVA+Arc piattaforma cloud di monitoraggio

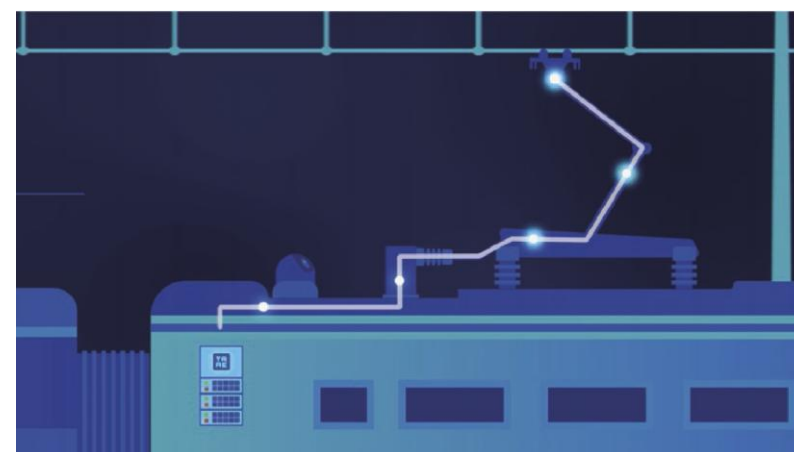


Tutti i dispositivi sono stati progettati e prodotti da Haslerrail e conformi agli standard ferroviari applicabili

T.R.A.E. – Tecnologia Rilevamento Arco Elettrico



Il brevetto INRiM TRAE si basa sul monitoraggio in tempo reale della tensione e della corrente rilevate al pantografo.



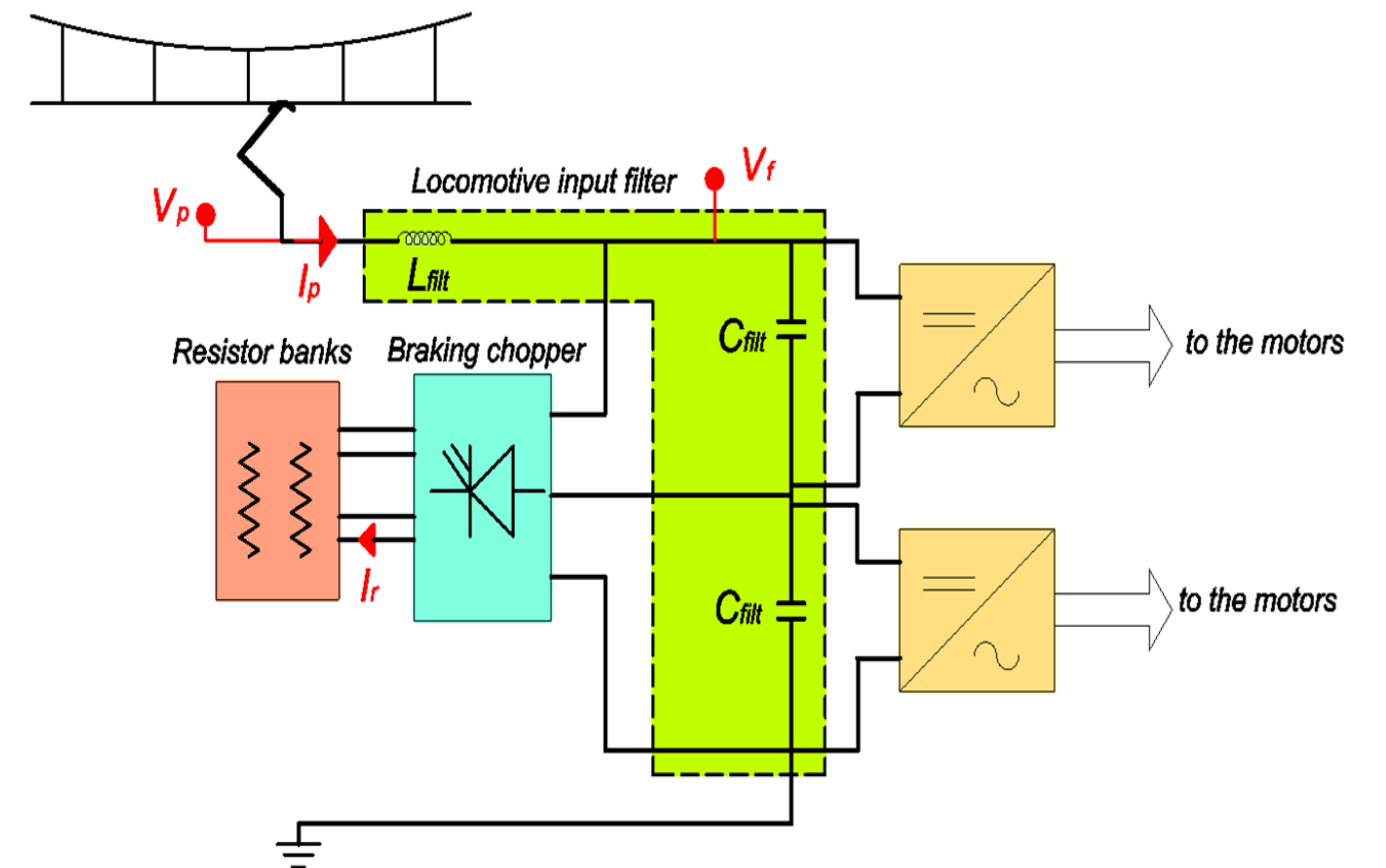
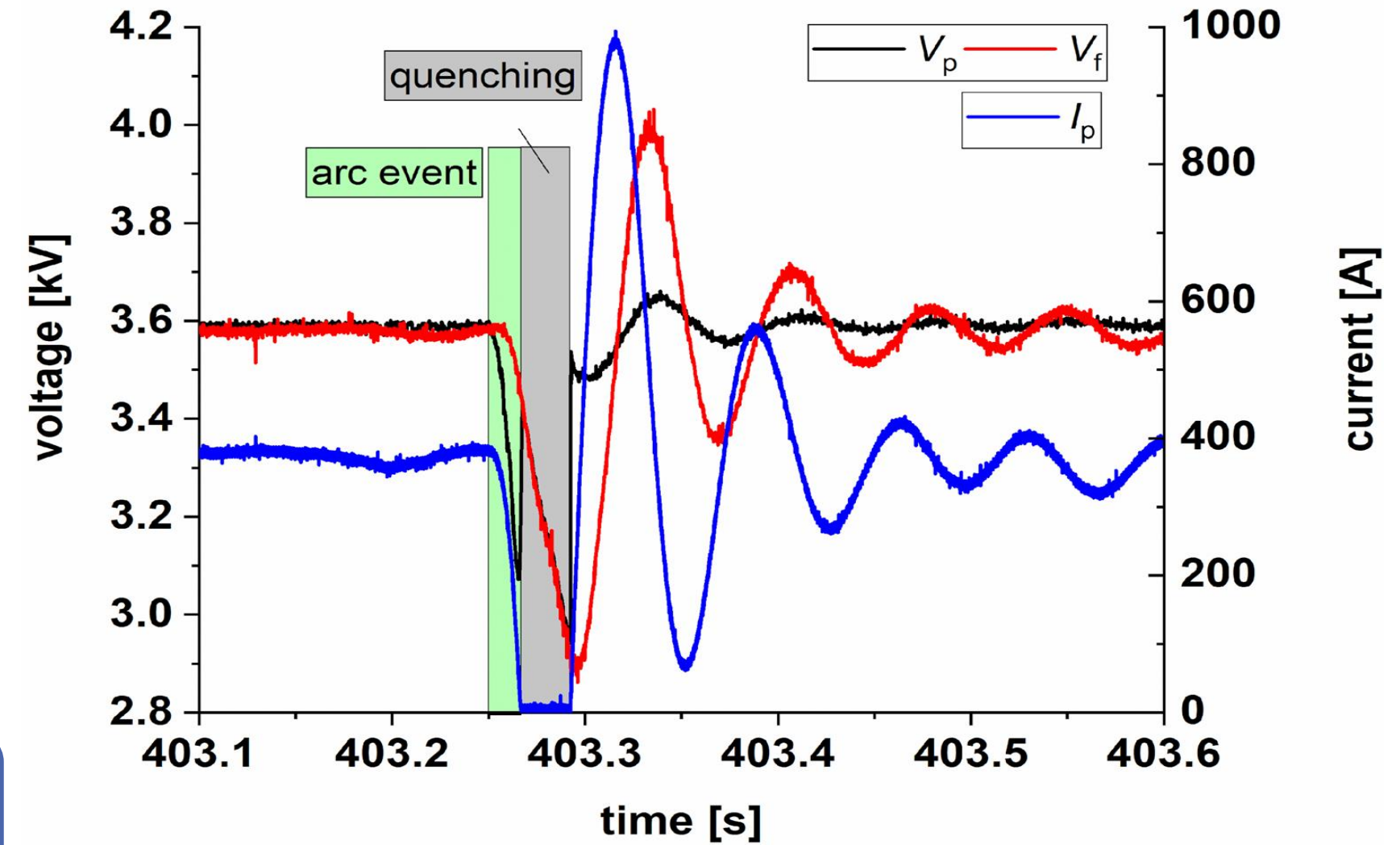
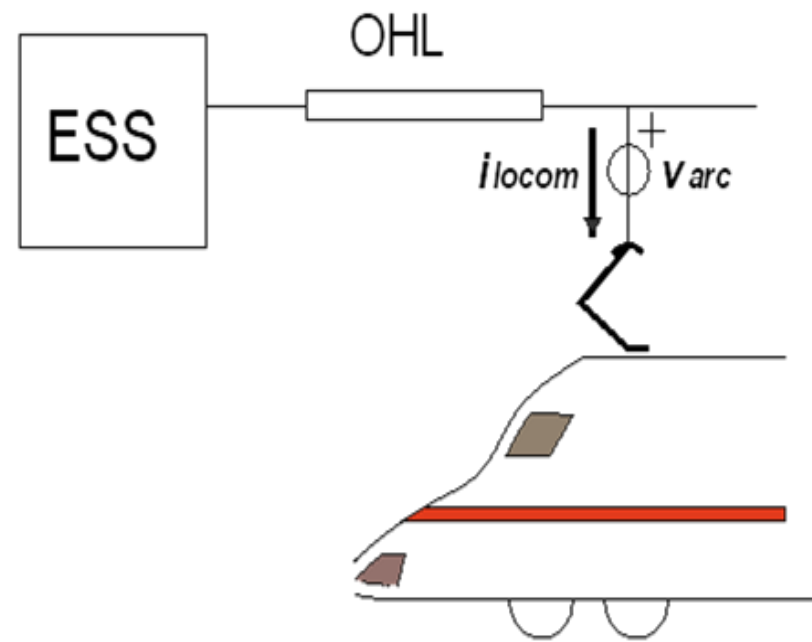
Integrazione semplice nei contatori di energia già installati –
I bassi costi di installazione facilitano un'adozione diffusa.



La raccolta degli eventi di arco nella rete ferroviaria attraverso l'infrastruttura di fatturazione energetica esistente



Arco in Trazione



1

- L'arco provoca un buco di tensione

2

- La corrente, che vorrebbe oscillare, provoca, al passaggio per lo zero lo spegnimento dell'arco (quenching).

3

- Con corrente I_p nulla, V_p e V_f diventano uguali, V_p «collassa» su V_f

4

- Tutte le quantità elettriche raggiungono nuovamente lo stato stazionario tramite un'oscillazione smorzata intorno a 15 Hz, cioè la frequenza di oscillazione del filtro a bordo.

Analisi dei dati



Dataset

Sono stati registrati più di 3.000 eventi di arco

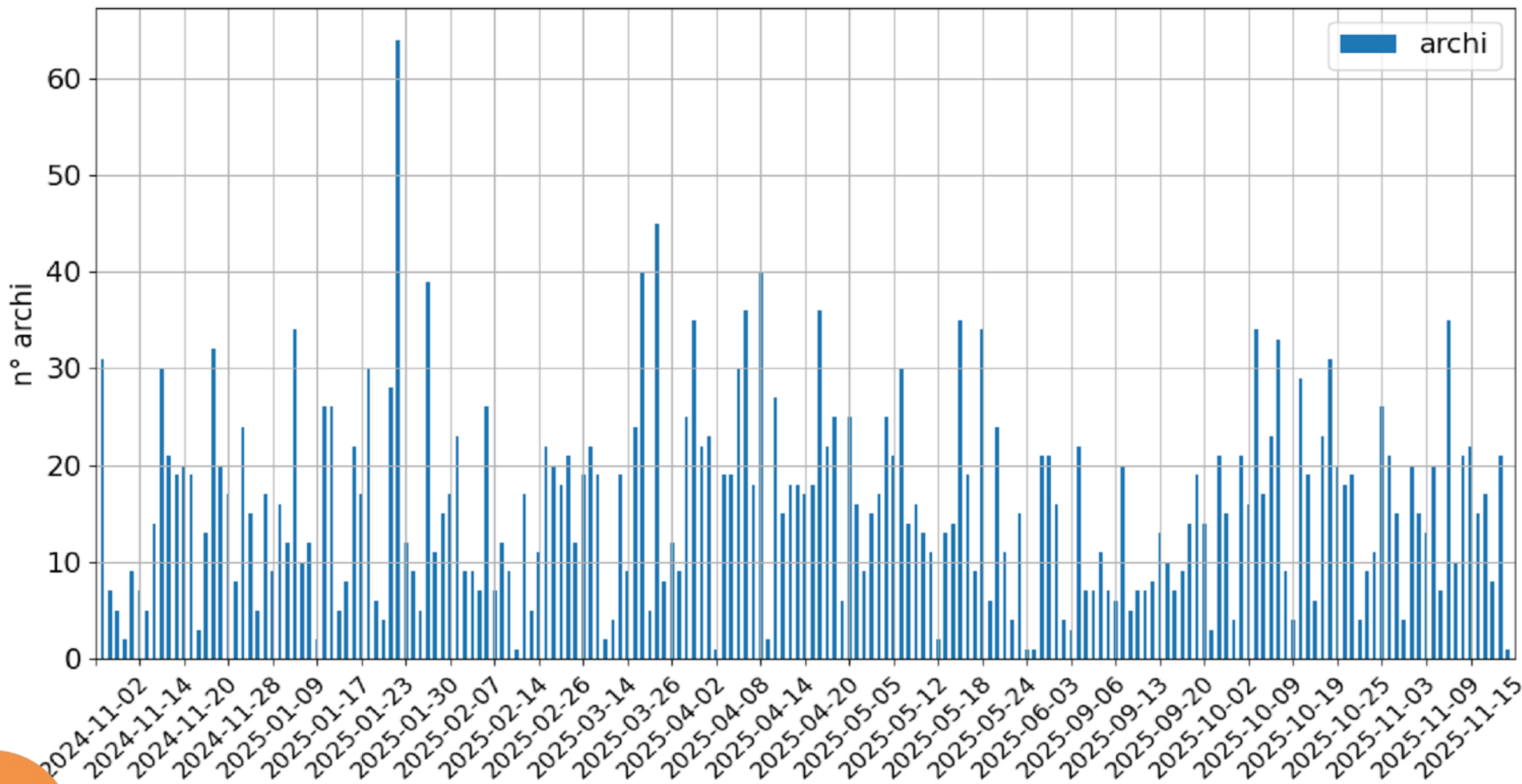
Da Novembre 2024 a Dicembre 2025

La locomotiva ha svolto 2170 viaggi

Ha percorso più di 108.000 km



Andamento macroscopico degli eventi di archi nel tempo



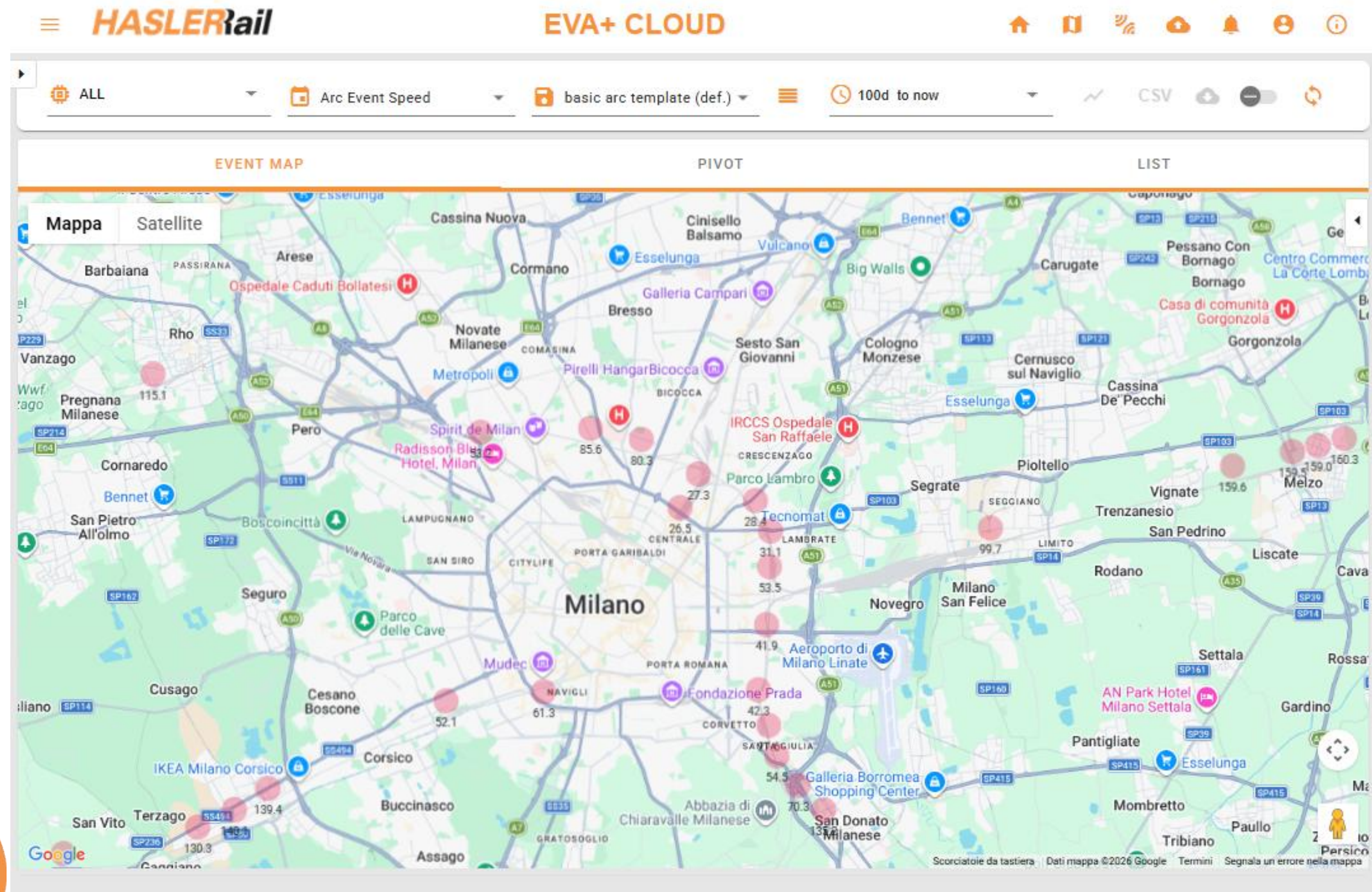
Algoritmo di rilevamento Hotspot lungo le tratte



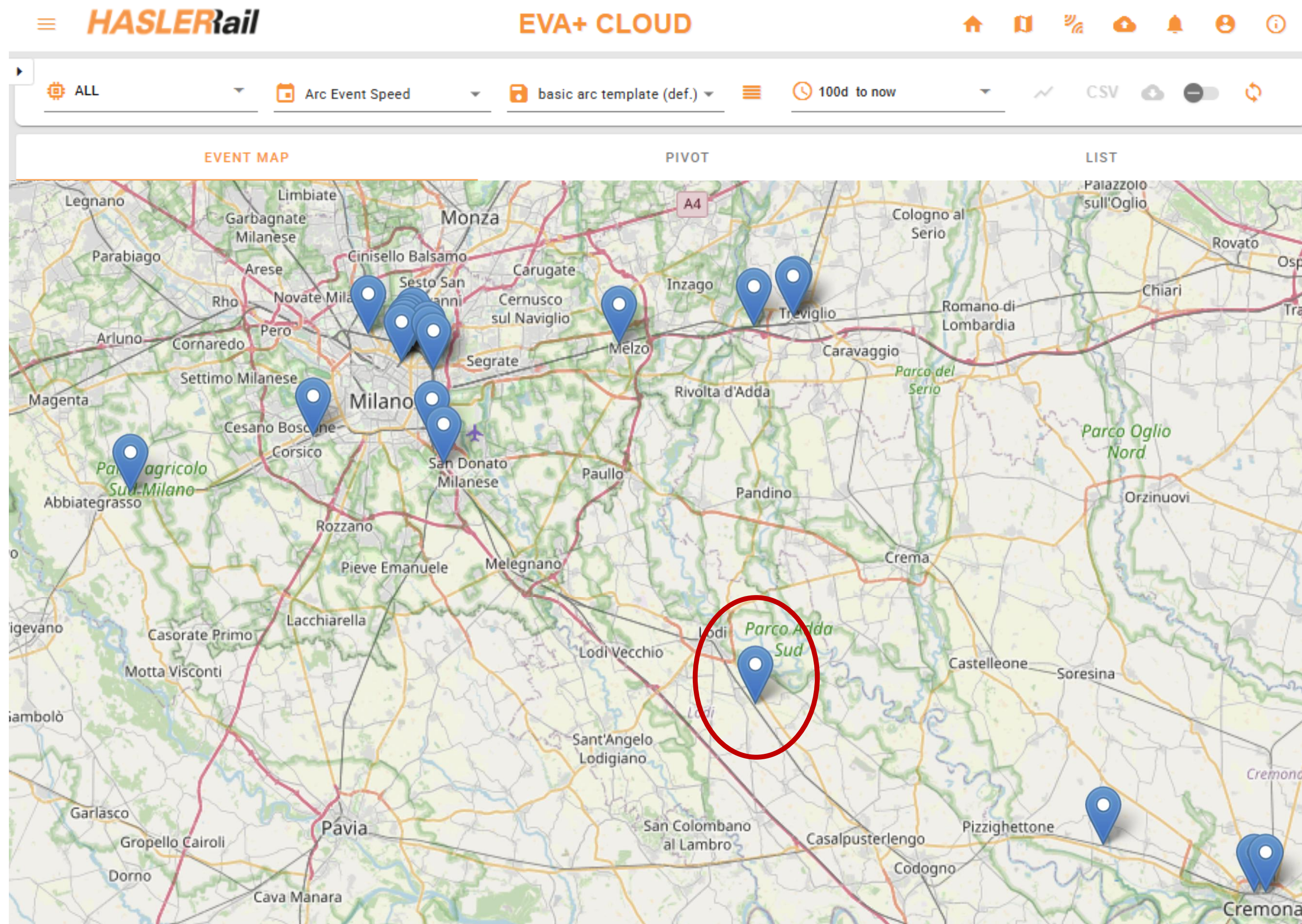
22 hotspot individuati

L'interfaccia permette
un'analisi del tasso
d'arco nel tempo

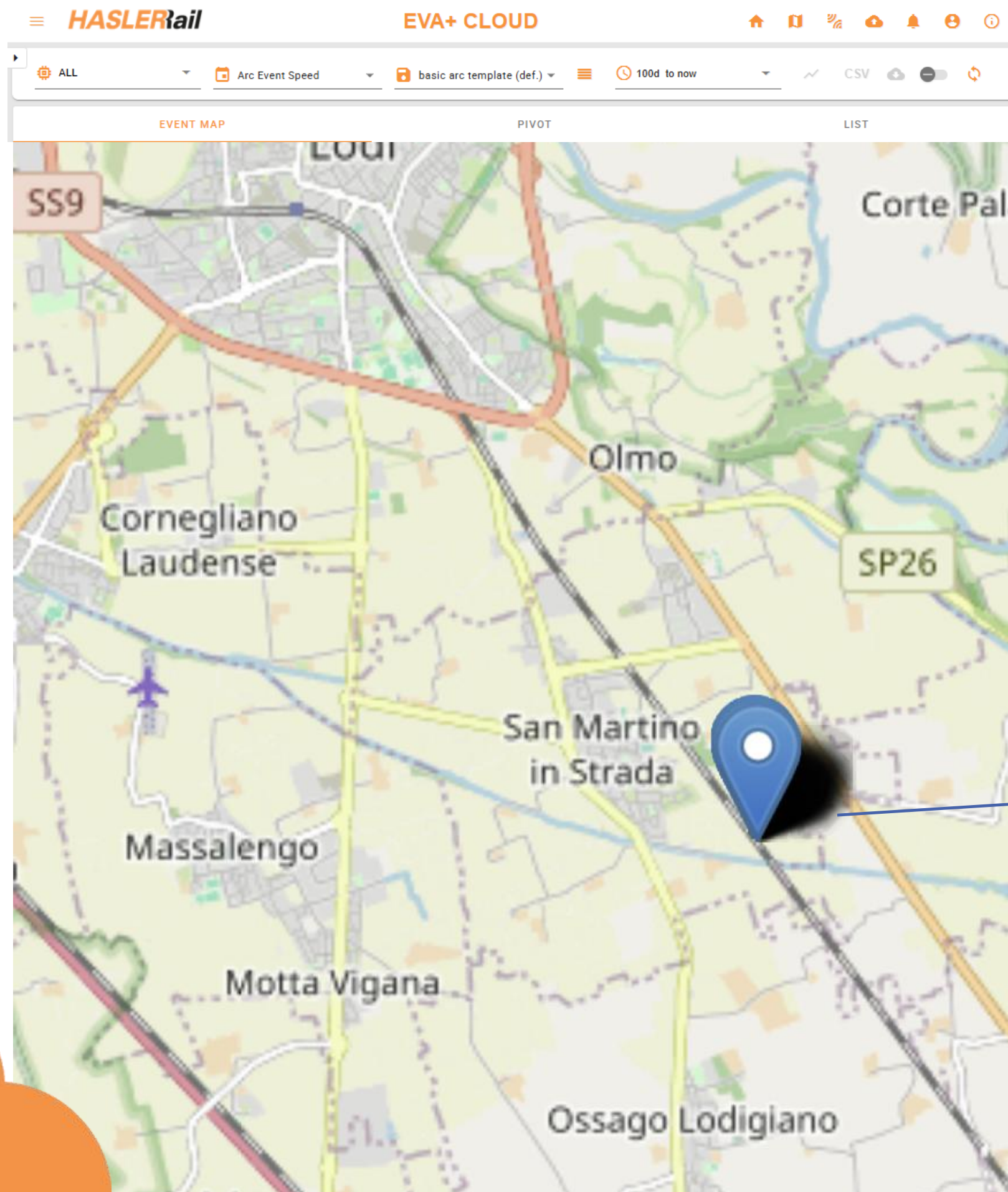
Interfaccia per l'analisi dei dati



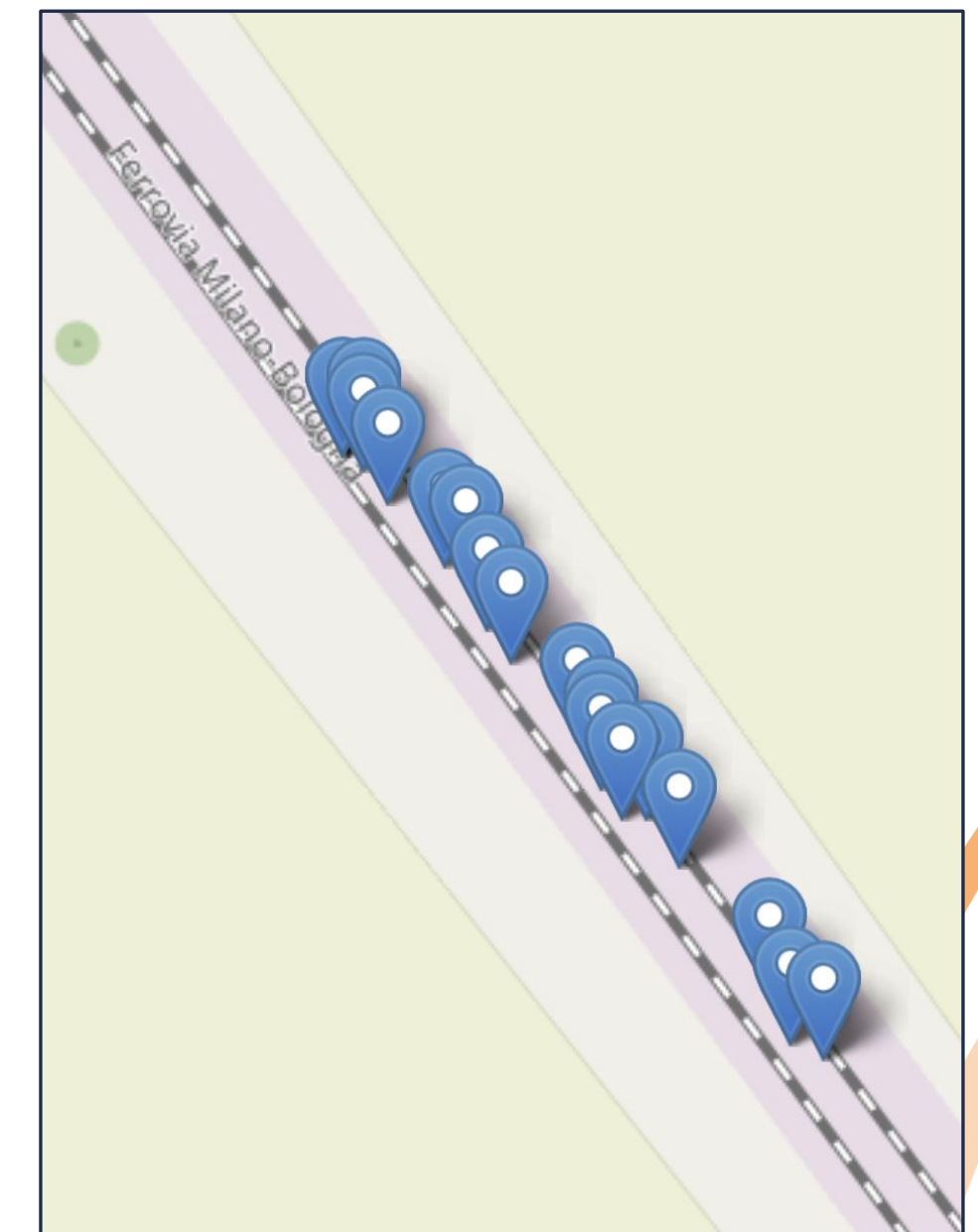
Hot-spot lungo la linea Milano - Lodi



Hot-spot lungo la linea Milano – Lodi (San Martino in Strada)



Rilevato attraverso l'algoritmo che identifica un'area geografica in cui sono concentrati almeno 30 archi ad una distanza entro i 250 m



Hot-spot lungo la linea Milano - Lodi

N	Data / ora	Lat	Lon	Velocità (km/h)	Durata (ms)	Profondità (V)	Quenching (ms)	Energia (J)
1	17/11/2024 18:02	45.26574	9.54261	160	43	310	0.0	367
2	01/01/2025 13:05	45.26502	9.54332	144	29	227	0.0	690
3	01/01/2025 18:03	45.26536	9.54299	130	25	116	1.0	14
4	01/01/2025 22:40	45.26497	9.54336	160	46	441	0.0	450
5	18/01/2025 06:51	45.2652	9.54317	160	34	147	0.0	236
6	19/01/2025 08:03	45.26603	9.54231	159	41	215	0.0	228
7	19/01/2025 18:06	45.26523	9.54313	125	29	149	0.0	985
8	04/02/2025 13:01	45.26504	9.54331	150	28	438	0.0	1670
9	04/02/2025 22:11	45.26535	9.54301	148	55	118	14.5	31
10	27/03/2025 06:49	45.26564	9.54269	138	25	128	2.3	18
11	28/03/2025 08:13	45.26543	9.5429	138	24	88	9.5	6
12	28/03/2025 08:13	45.26598	9.54232	138	26	102	10.5	12
13	28/03/2025 13:04	45.26522	9.54313	155	39	341	0.0	389
14	28/03/2025 18:01	45.26509	9.54328	142	13	312	4.8	-20
15	28/03/2025 18:01	45.26621	9.5421	139	6	211	0.0	-17
16	30/03/2025 06:54	45.26548	9.54287	159	30	152	0.0	232
17	30/03/2025 12:06	45.26506	9.5433	160	29	183	0.0	201
18	30/03/2025 17:03	45.26634	9.54197	160	37	130	0.0	137
19	30/03/2025 22:13	45.26599	9.54237	158	42	126	17.5	16
20	04/04/2025 06:47	45.26495	9.54342	160	31	266	0.0	1261
21	04/04/2025 06:47	45.26624	9.54208	160	44	176	14.8	29
22	04/04/2025 17:03	45.265	9.54337	160	41	175	0.0	269
23	05/04/2025 08:05	45.26543	9.5429	159	36	205	0.0	167
24	05/04/2025 08:06	45.26607	9.54224	159	29	154	0.0	124
25	05/04/2025 13:06	45.26542	9.54292	147	12	94	7.0	3
26	05/04/2025 13:06	45.26601	9.54231	146	29	129	6.5	18

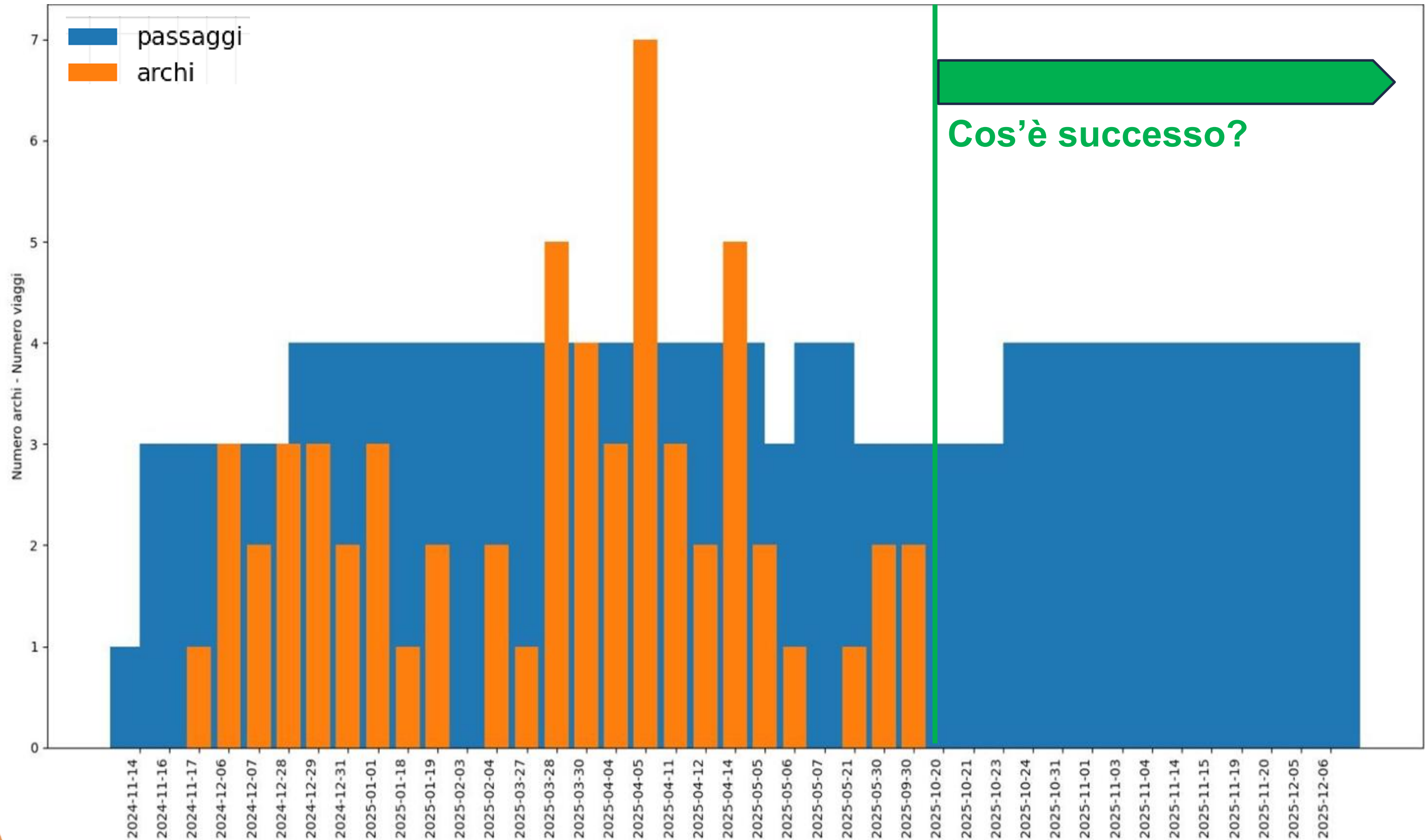


Hotspot lungo la linea Milano - Lodi

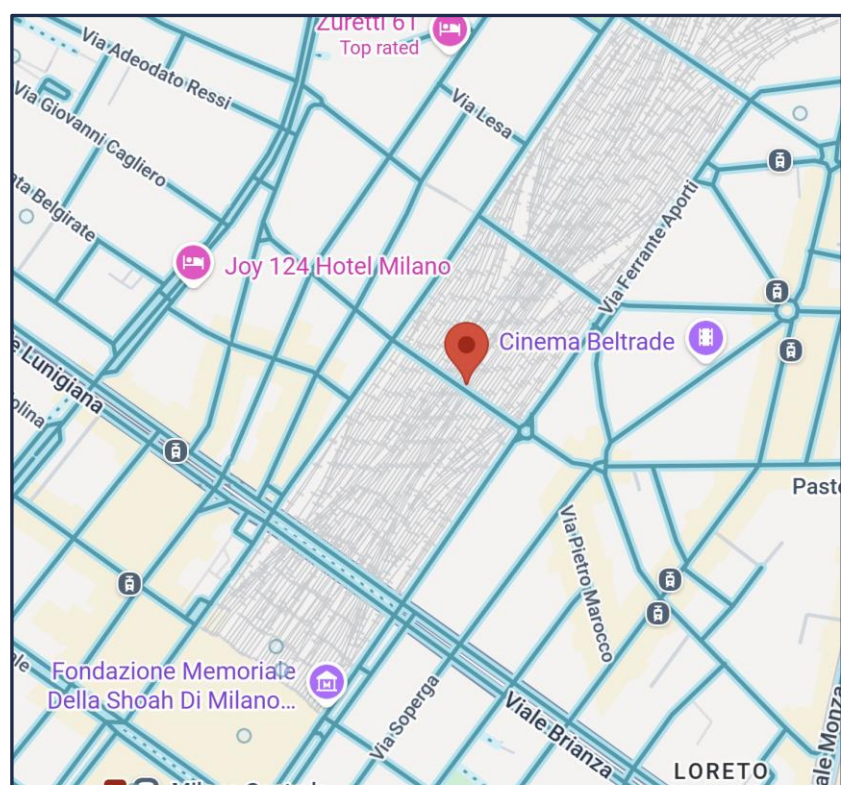
Elevato quenching dell'arco



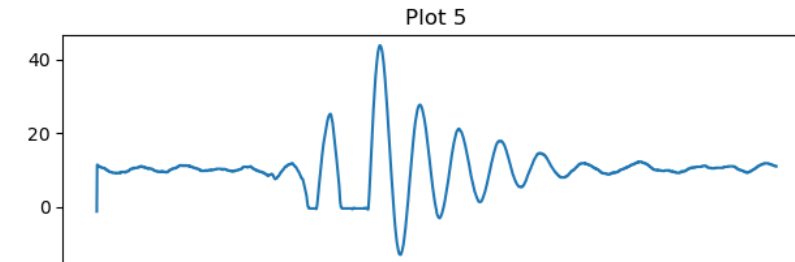
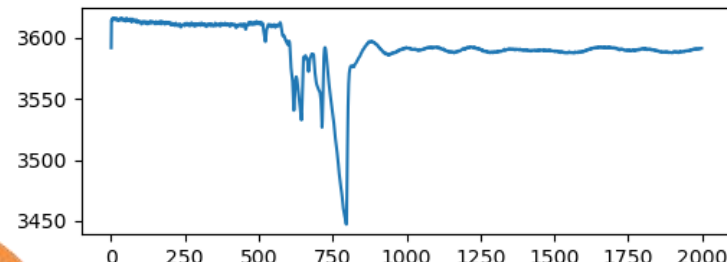
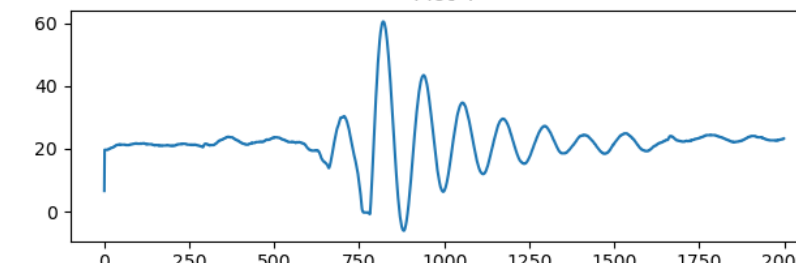
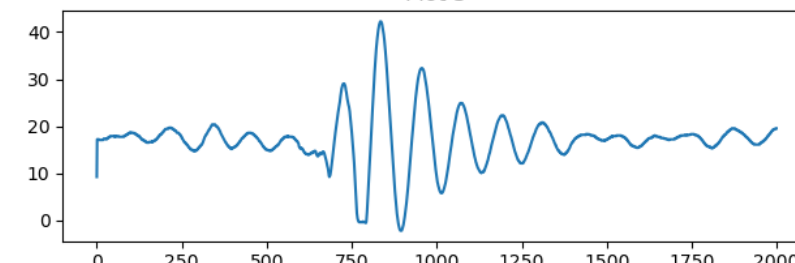
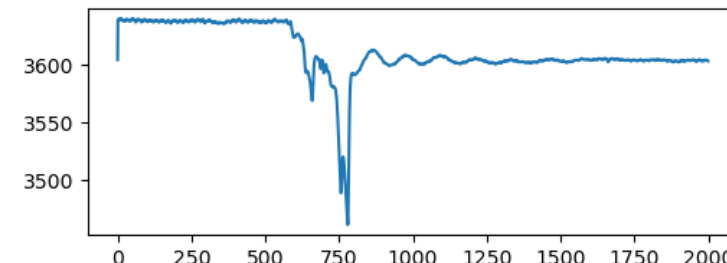
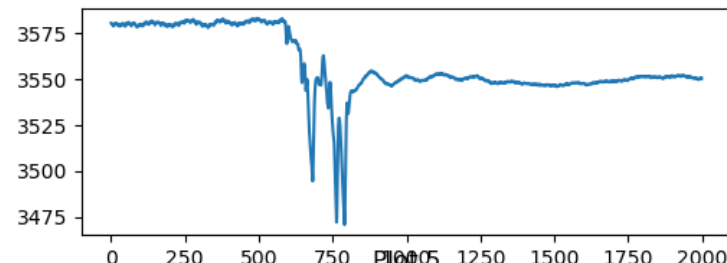
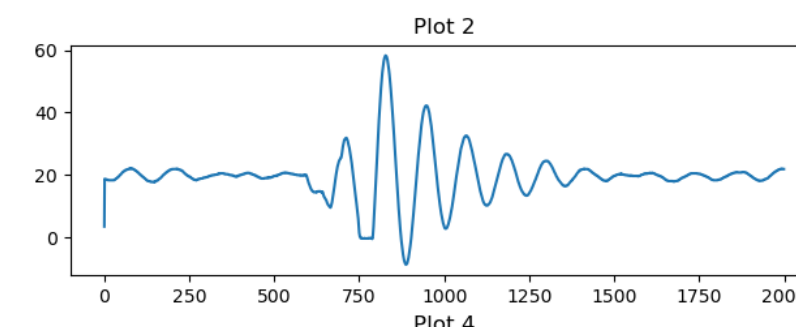
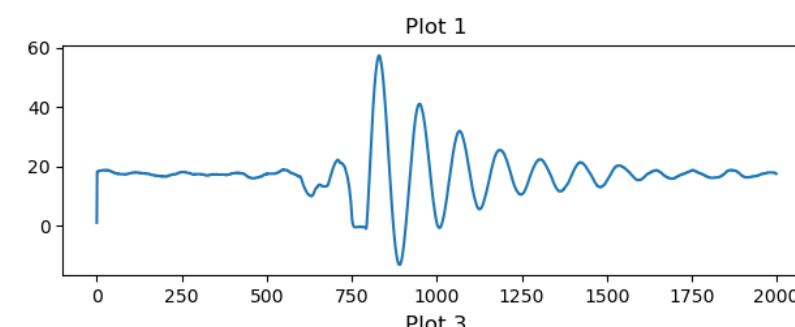
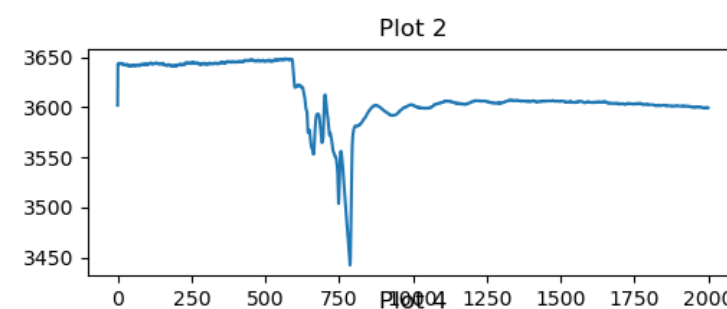
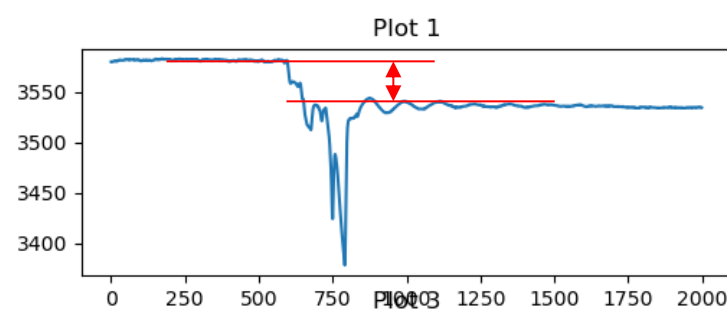
Hotspot lungo la linea Milano - Lodi



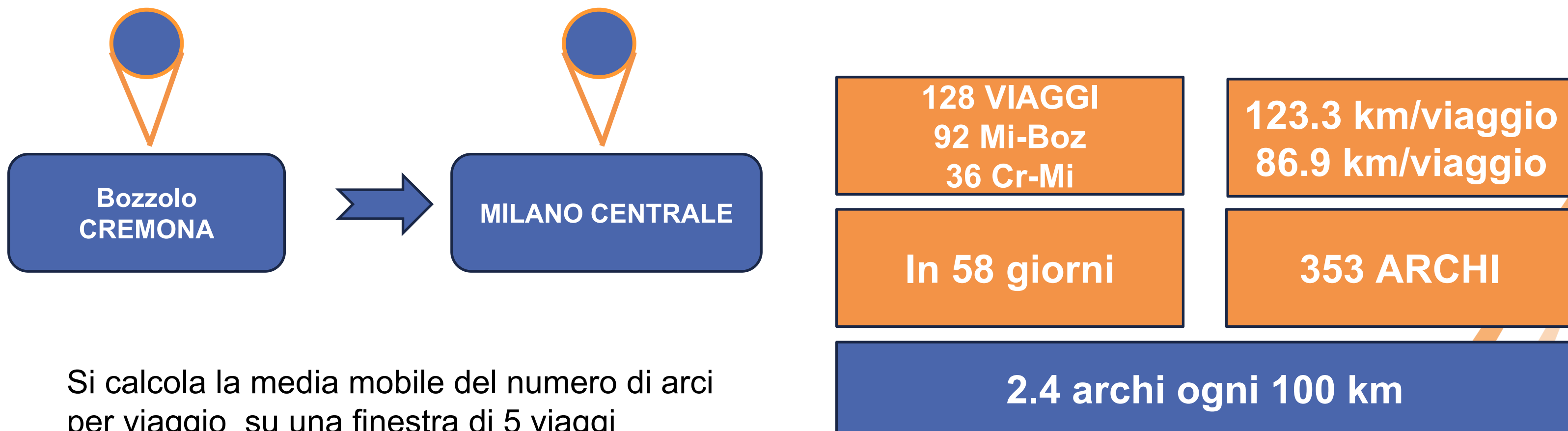
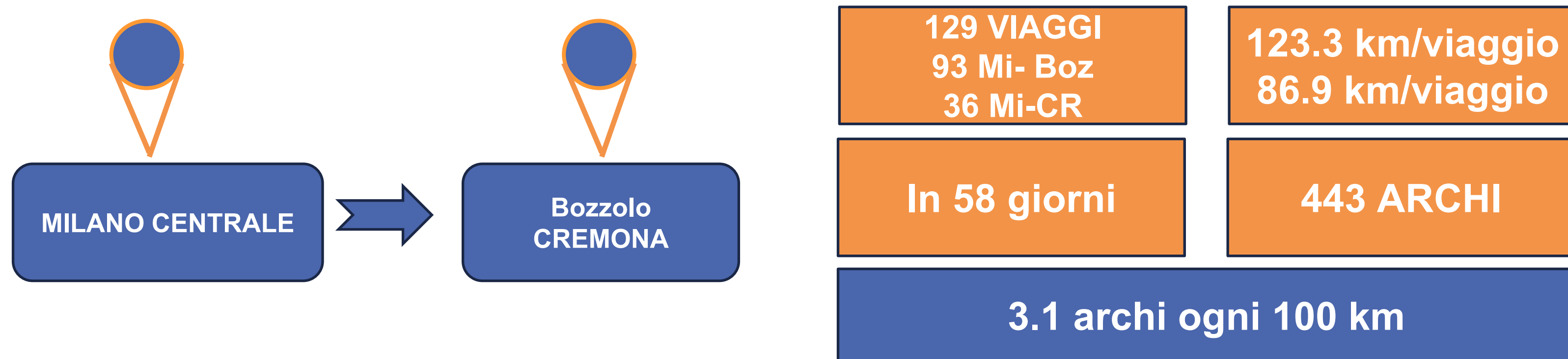
Il Caso di Milano Centrale



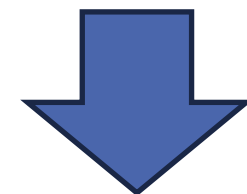
date_time	coordinate	speed
2025-03-11 17:52:39	[45.49221, 9.21072]	30.5
2025-03-15 07:51:15	[45.49215, 9.21063]	30.2
2025-03-15 11:49:47	[45.49212, 9.21062]	28.5
2025-03-16 07:50:29	[45.49219, 9.21068]	29.8
2025-03-25 10:52:18	[45.49215, 9.21048]	30.1



Si analizza la tratta Milano –Cremona, Bozzolo

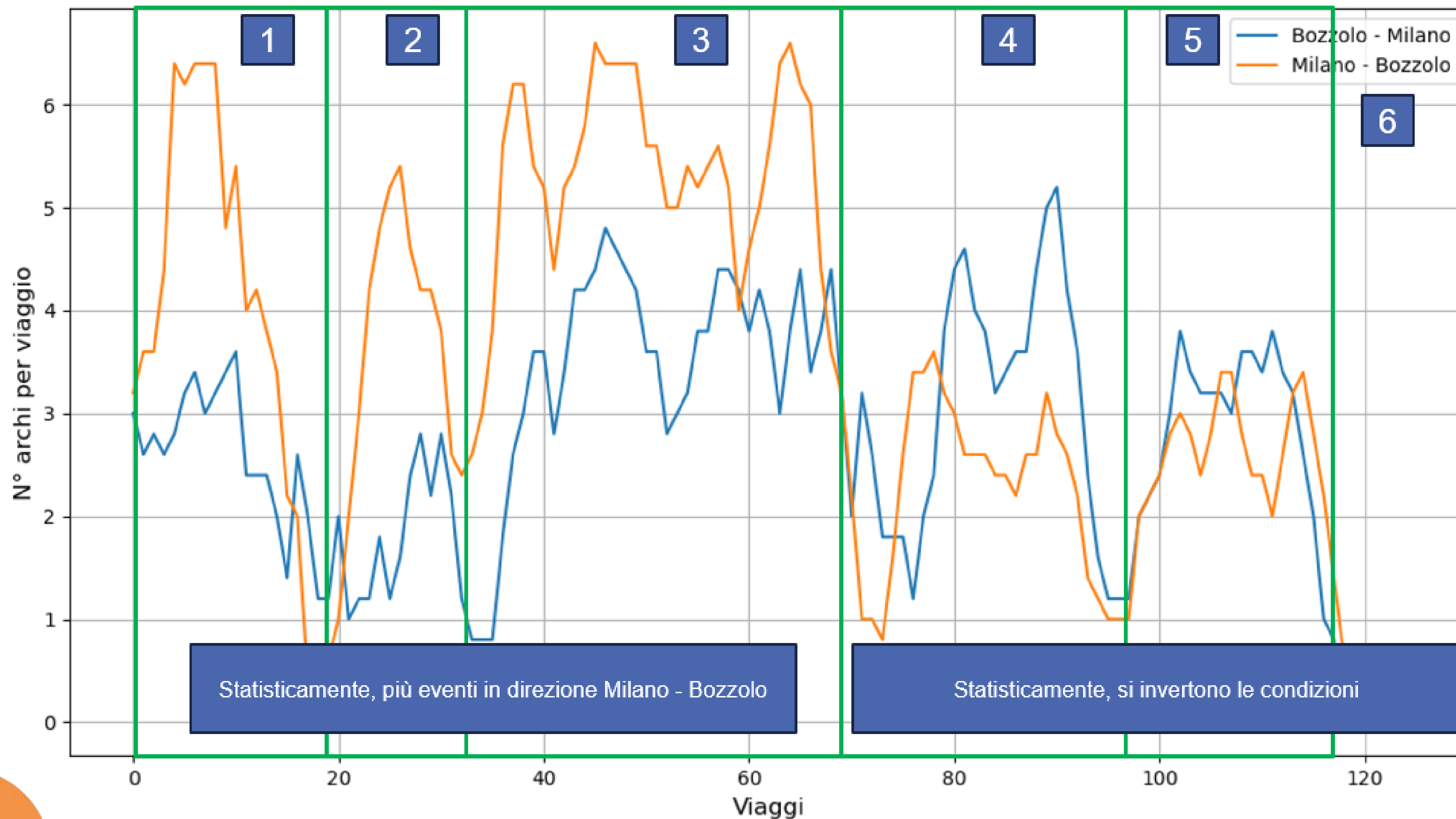


Si calcola la media mobile del numero di archi per viaggio su una finestra di 5 viaggi

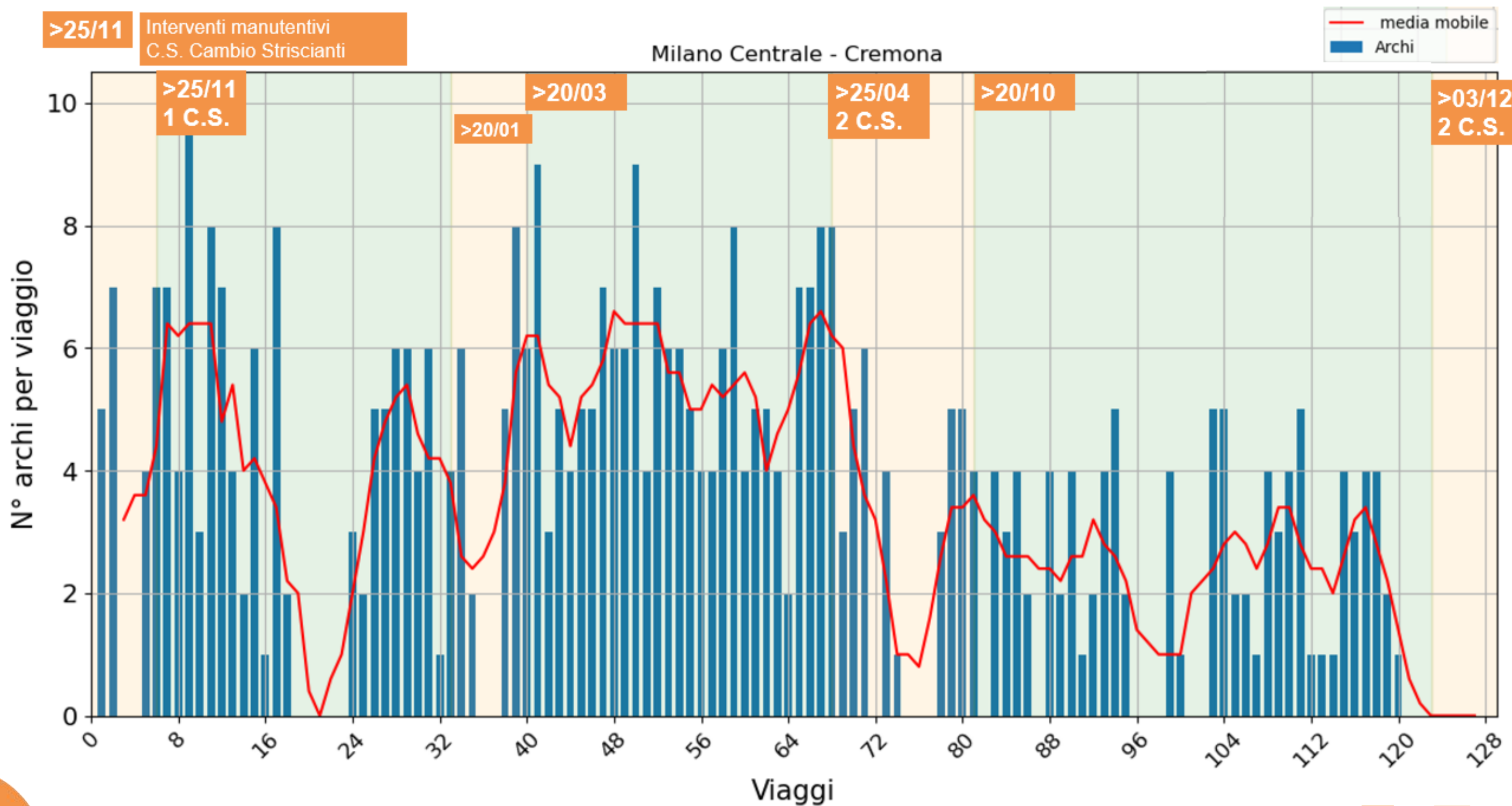


Confronto nei due sensi di marcia

Media mobile su 5 viaggi



Si analizza la tratta Milano –Cremona, Bozzolo



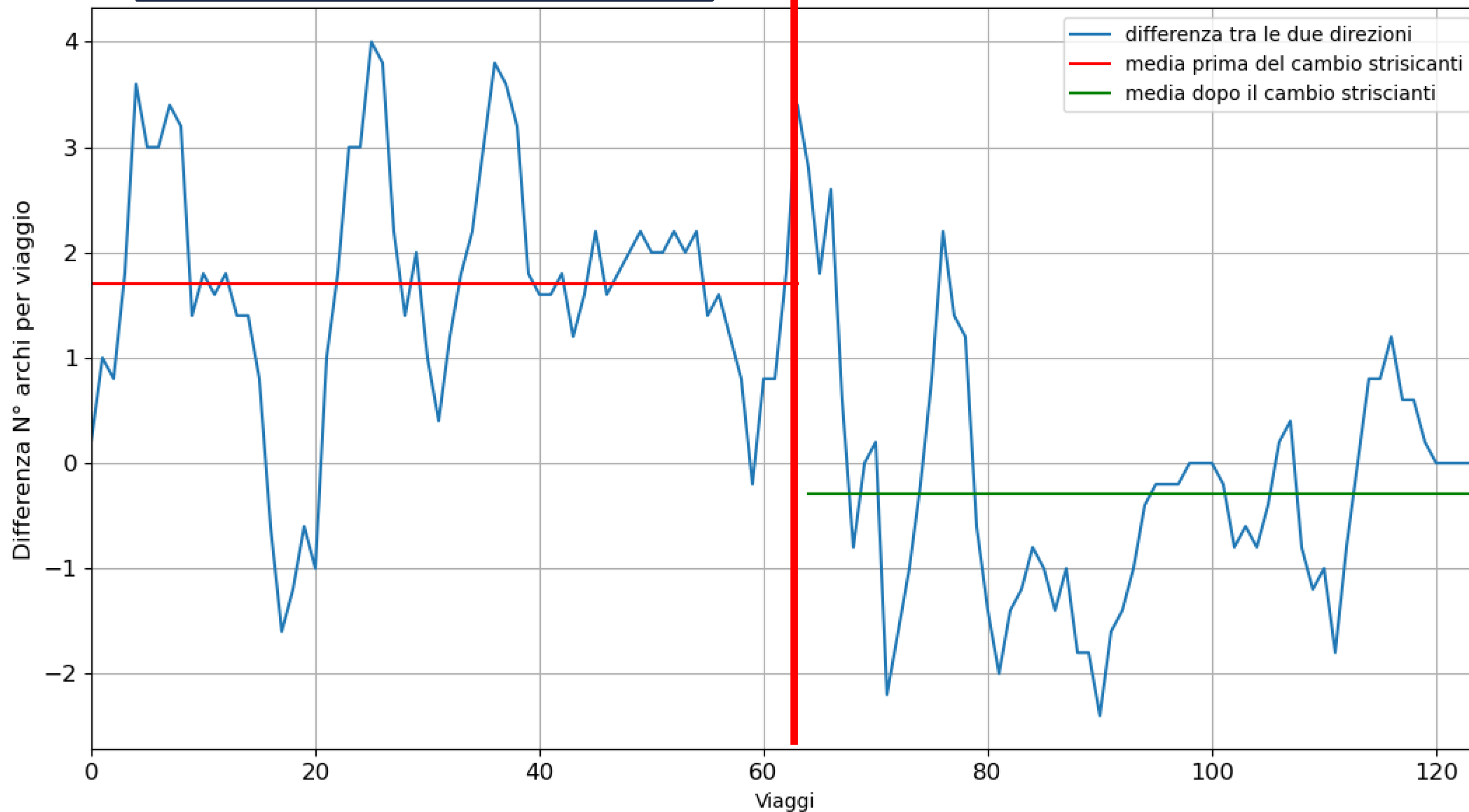
Confronto nei due sensi di marcia

Analisi sulla differenza degli eventi tra sensi di marcia opposti

$N_{\text{archi_Mi_Boz}} - N_{\text{archi_Boz_Mi}}$




1 strisciante nuovo
1 strisciante vecchio

Entrambi gli striscianti cambiati



Considerazioni

L'evoluzione temporale dei distacco-pantografi è influenzata, in linea di principio da:

-  Interventi manutentivi al pantografo
-  Interventi manutentivi alla linea di contatto
-  Interventi manutentivi al binario

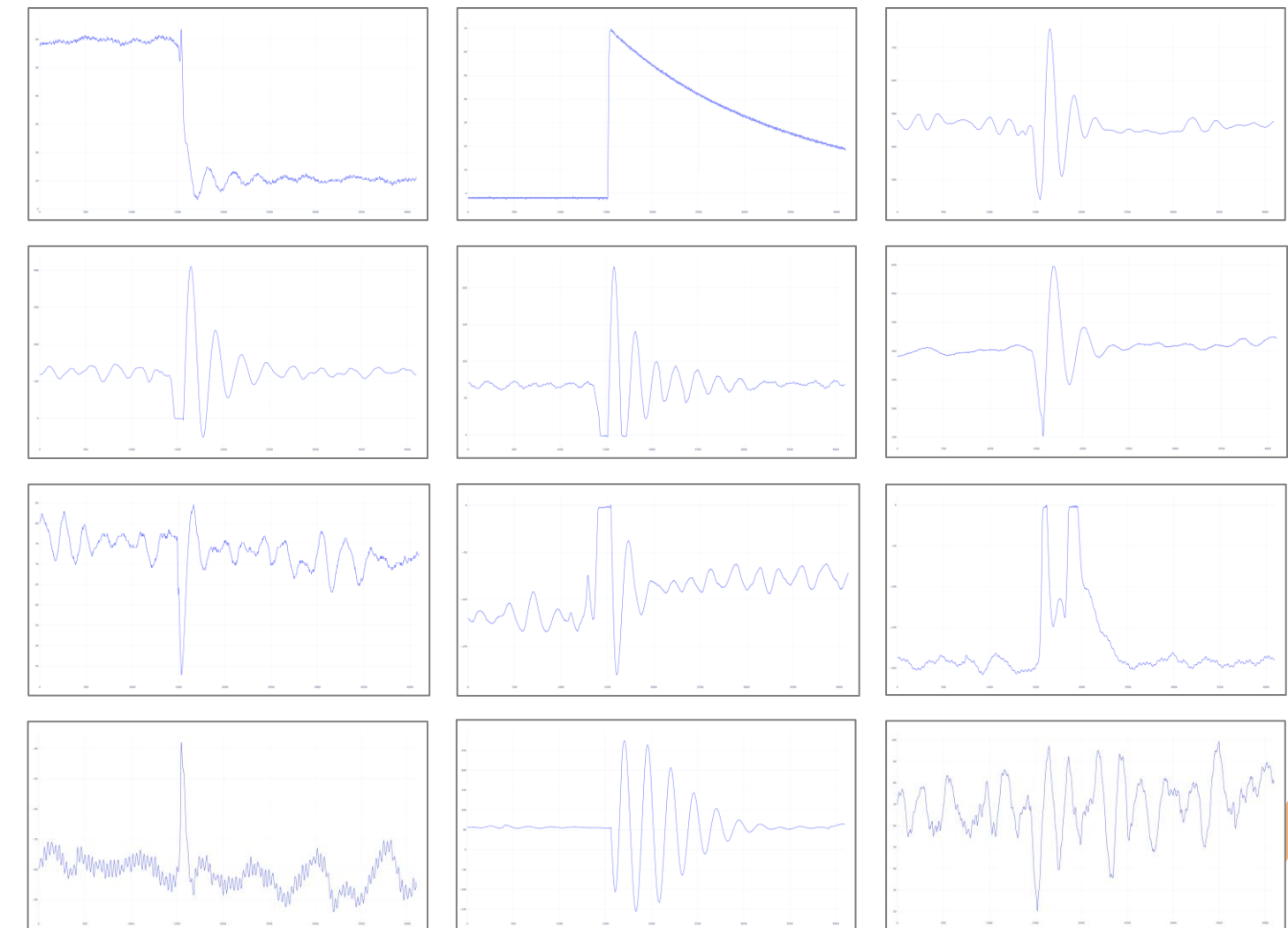
L'analisi di una singola linea mostra una periodicità nel numero di eventi per viaggio non completamente spiegata dalle informazioni attualmente a disposizione

Classificazione basata su algoritmi IA



Il sistema AI cloud analizza i segnali e genera un "prediction vector". Quindi, definisce la classe a cui l'arco appartiene.

Abbiamo identificato 12 classi al momento e stiamo analizzando quali tra queste abbiano un significato fisico.



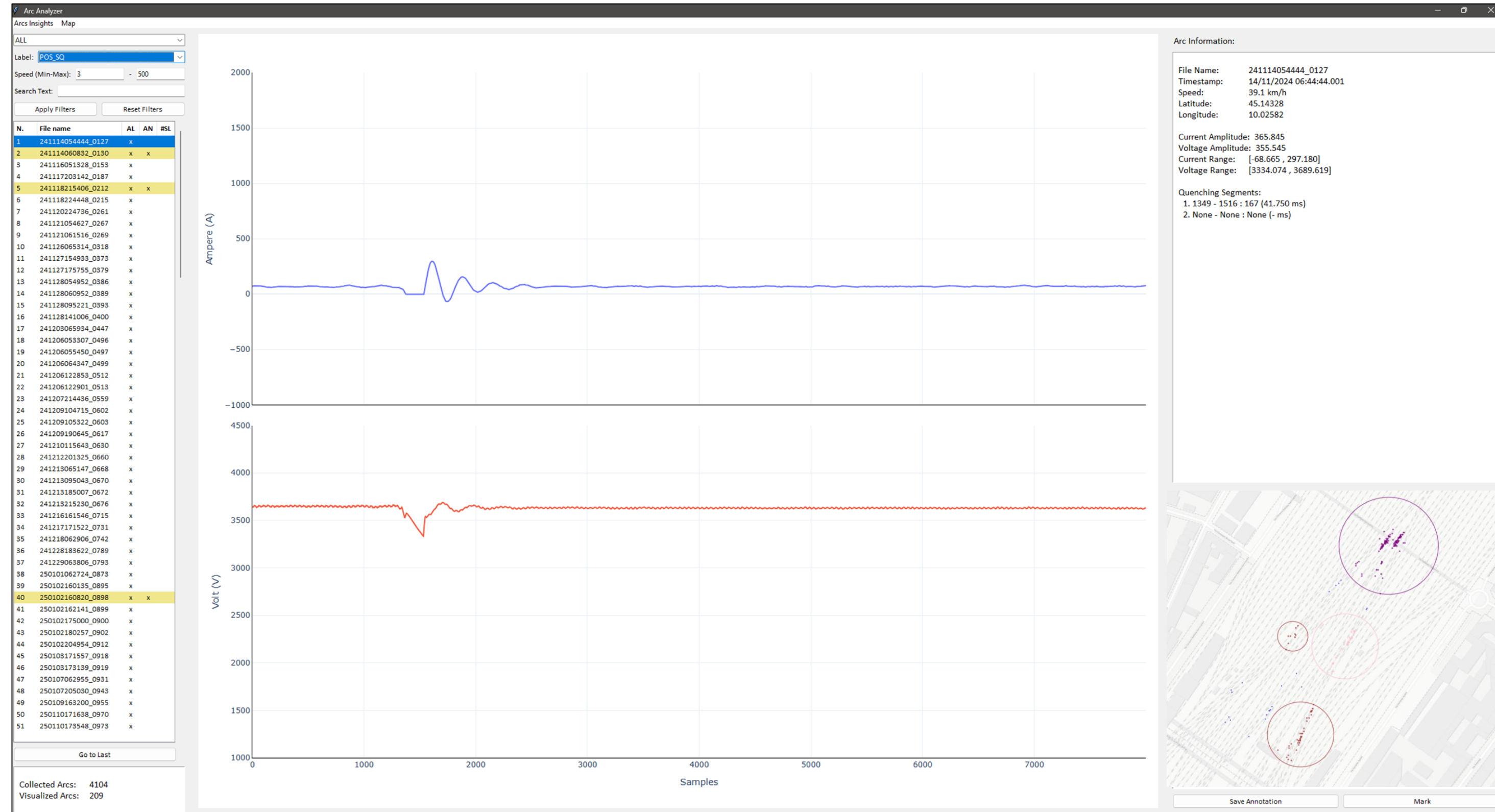
Visualizzazione dettagli archi in Arc Analyzer

Filtri con selezione della classe POS_SQ: Corrente positiva con singolo segmento di quenching.

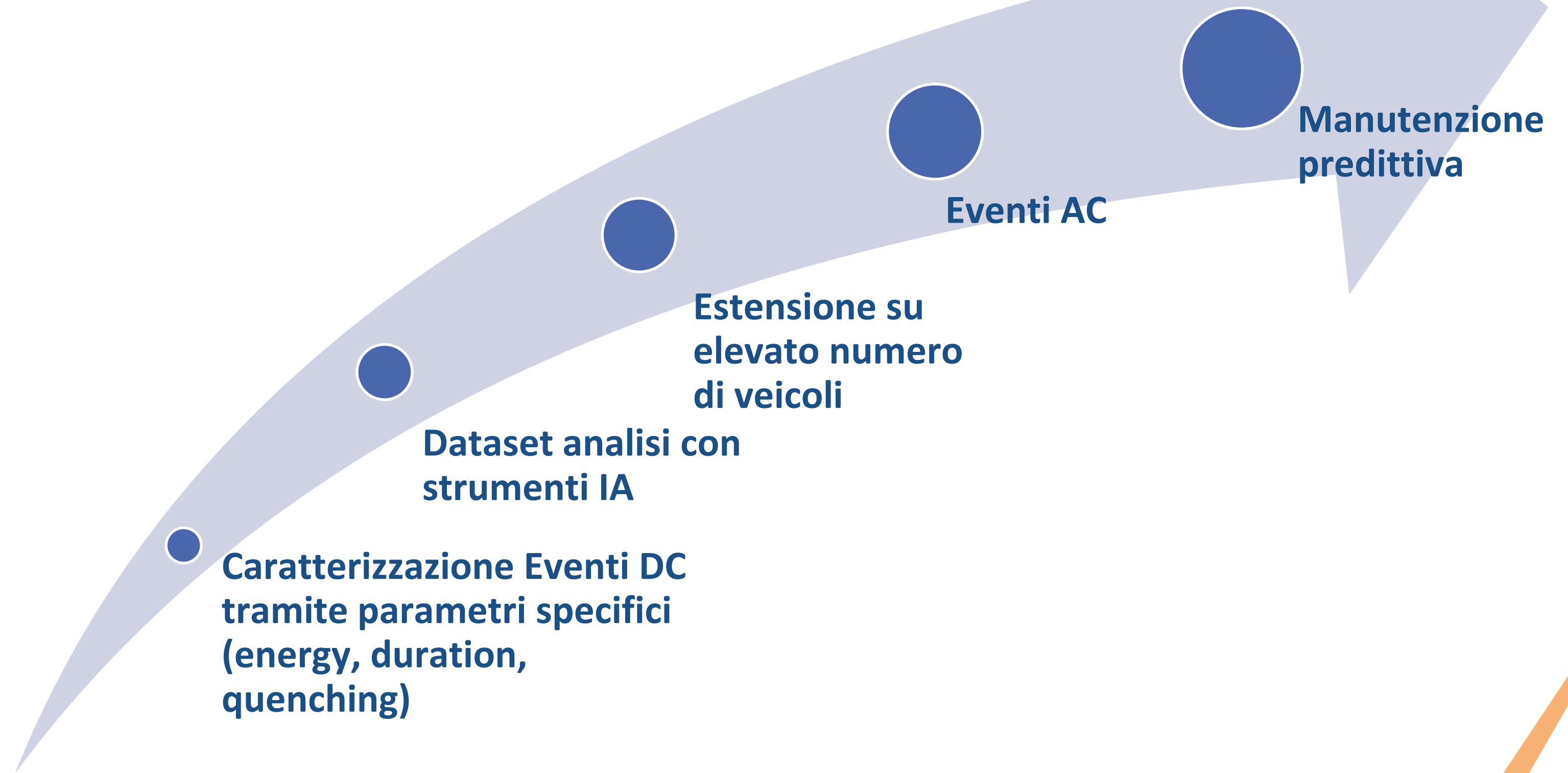
Grafico Corrente e Tensione

Informazioni sull'arco

Visualizzazione degli archi dati i filtri.



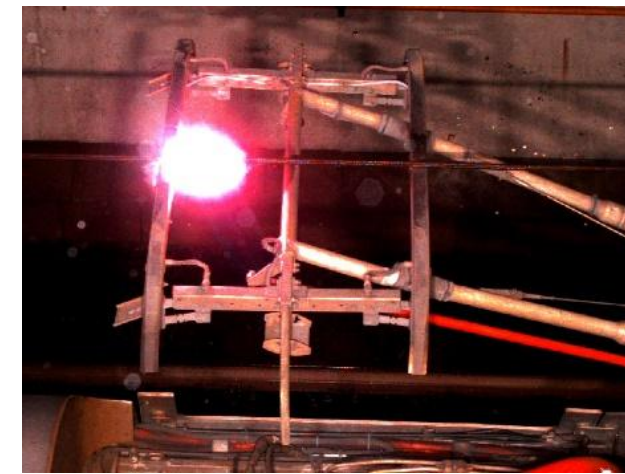
Roadmap



II COINVOLGIMENTO DEL GESTORE INFRASTRUTTURA e' fondamentale per poter discriminare se gli hotspot sono indici di guasto o sono fisiologici.



Conclusioni



PUNTI CHIAVE DEL PROGETTO DI RILEVAMENTO ARCHI IN DC:

- E' possibile implementare la funzionalità di rilevamento ARC sui misuratori di energia DC standard e permanenti → monitoraggio massivo
- Attraverso l'analisi dei dati forniti al sistema cloud è possibile identificare degli hotspot che potrebbero indicare potenziali anomalie relative al sistema Pantografo/Catenaria anticipando i necessari interventi di manutenzione
- Con il supporto di algoritmi avanzati di intelligenza artificiale e parametri derivati aggiuntivi, sarà possibile fornire ulteriori informazioni utili per correlare gli eventi di arco elettrico con potenziali problemi relativi a OHL e/o PANTO
- I dati fin qui analizzati mostrano correlazione tra il numero di archi e gli interventi di manutenzione effettuati sul veicolo. Tuttavia ci sono dei trend ancora non spiegabili che richiedono la conoscenza della fisicità dell'infrastruttura e delle manutenzioni effettuate su di essa.
- HASLERRAIL ed INRiM sono disponibili per attivare insieme agli enti del settore ferroviario ulteriori test di sistema sul campo !!!





HASLERRail

Sécheron Hasler GROUP

Smart. Safe. Swiss.

DOMENICO GIORDANO d.giordano@inrim.it



IVANO BRESAOLA ivano.bresaola@haslerrail.com

HASLERRail

Grazie per l'attenzione!