

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Utilizzo di treni a batterie o idrogeno sulle reti ferroviarie e l'impiego di energia da fonti rinnovabili

Ing. Guido Guidi Buffarini

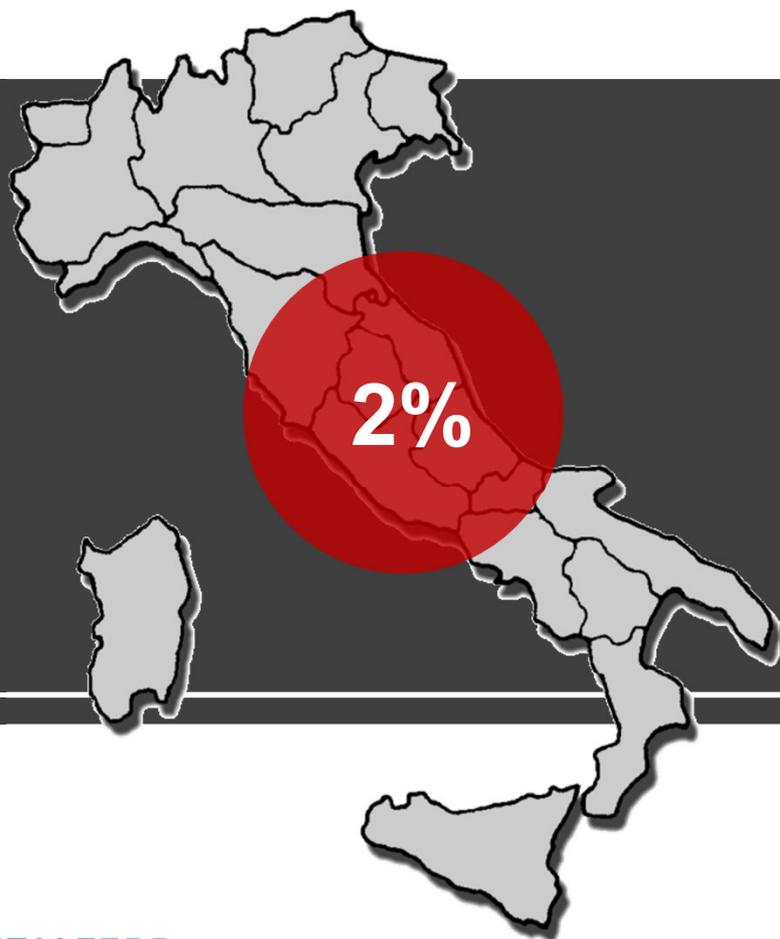
Ing. Stefano Miceli

12 Ottobre 2023



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Consumi energetici di gruppo



5,6 TWh Assorbiti in Italia dal Settore Ferroviario

Il Settore Ferroviario è responsabile in Italia del 2% dei Consumi Elettrici Nazionali

4,5 TWh Energia di Trazione

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Consumi energetici di gruppo



2,6 TWh

Obiettivo di Gruppo: autoproduzione di Energia Elettrica tramite fotovoltaico.

4,5 TWh

Energia consumata dal Gruppo FS nel 2022 per la trazione ferroviaria

86 MI

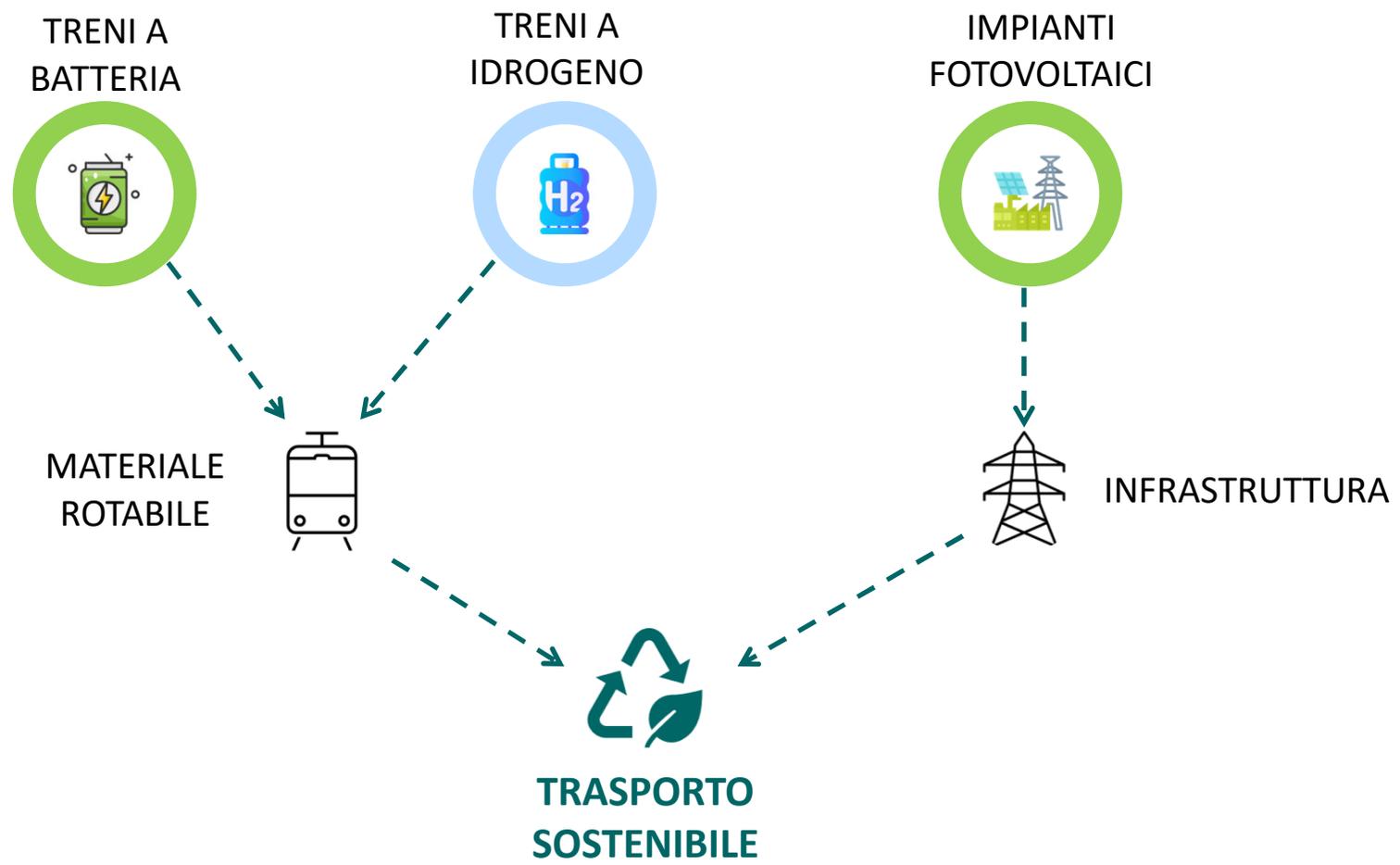
Di Gasolio consumato nel 2022, dovuti alla trazione ferroviaria

238 kt

CO₂e emessa per la trazione ferroviaria a gasolio

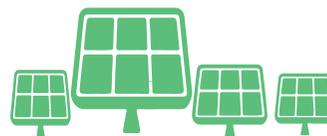
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Evoluzione della trazione elettrica



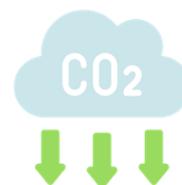
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Scenari di sviluppo



AUTOPRODUZIONE GREEN

Sviluppo quota di energia fornita dagli **impianti fotovoltaici**



EVOLUZIONE DELLA TRAZIONE

Eliminazione della Trazione **Diesel**



EFFICIENTAMENTO DI SISTEMA/RETE

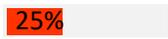
Regolazione flussi di potenza
Recupero energia

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Fonti di Energia

E Energia per la trazione ferroviaria

Rendimento



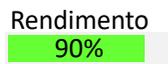
4E



Rinnovabili 0%
Fonti Fossili 100%



E TRAZIONE DIESEL



2,2E



Rinnovabili 37% 0,82E
Fonti Fossili 63% 1,38E



E ELETRIFICAZIONE



1,5E



+



Rinnovabili 1,09 E
Fonti Fossili 0,41 E



E ELETRIFICAZIONE TOTAL GREEN

0,84E

0,36E → 0E

1,2E

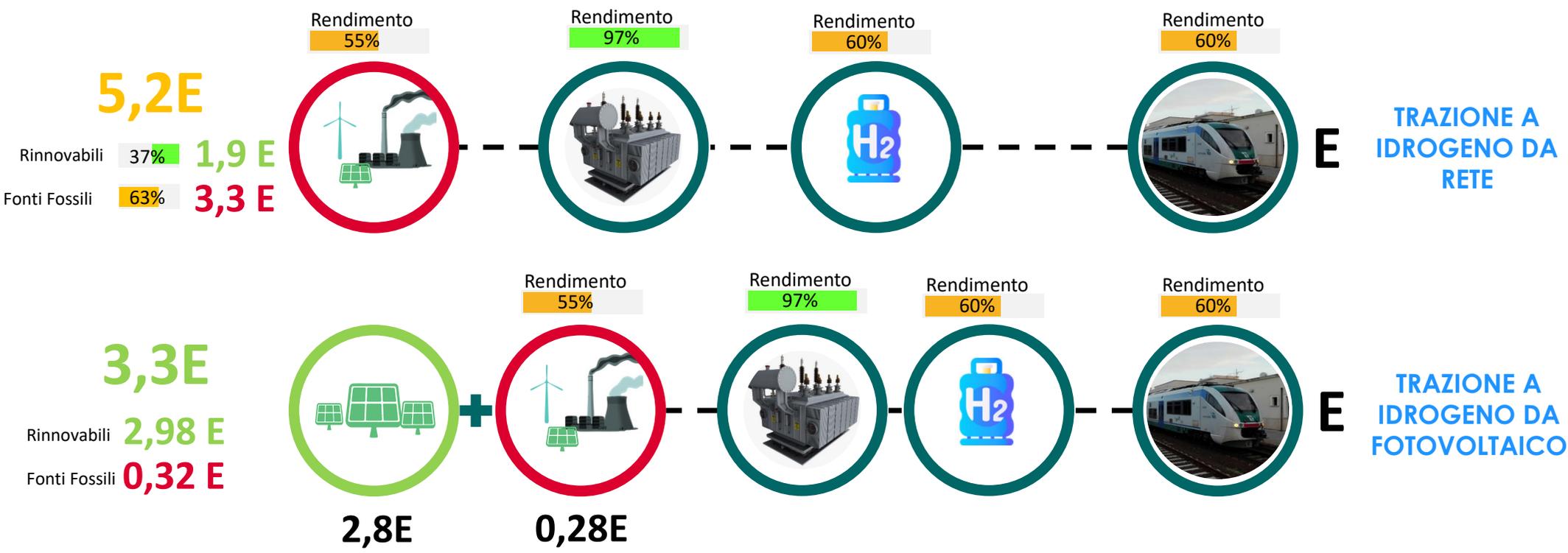
FORTE RIDUZIONE DEI COMBUSTIBILI FOSSILI

Utilizzo di treni a batterie o idrogeno sulle reti ferroviarie e l'impiego di energia da fonti rinnovabili | Guido Guidi Buffarini; Stefano Miceli

12/10/2023

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

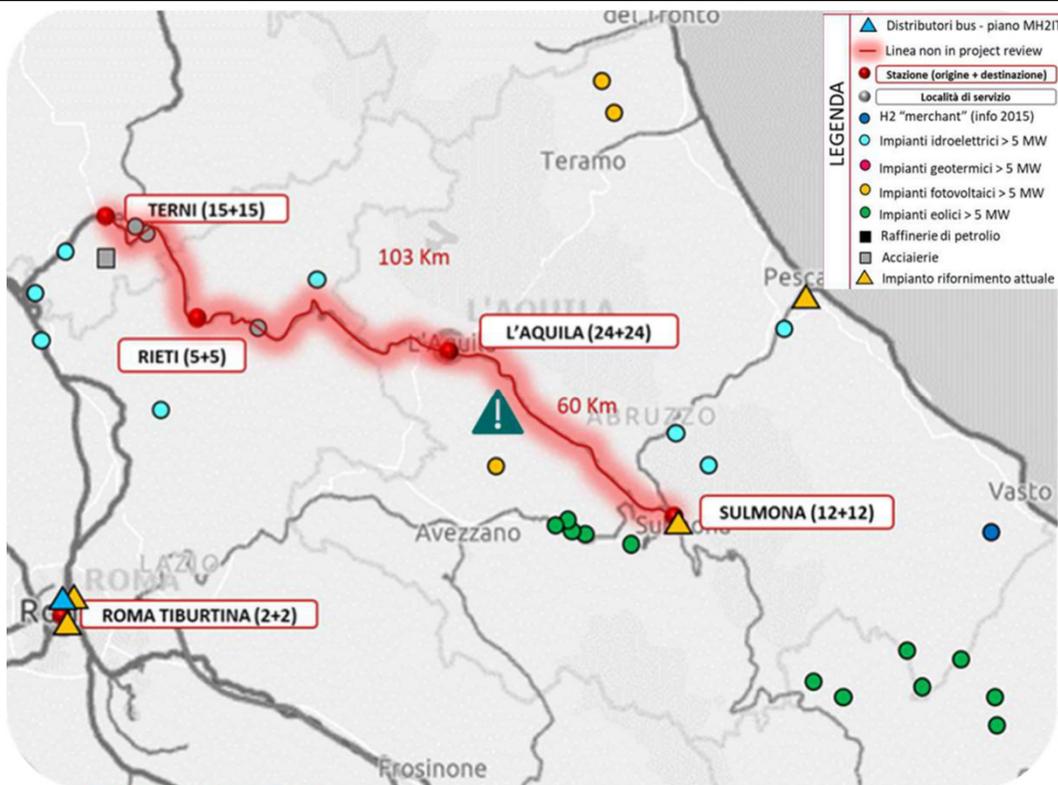
Fonti di Energia



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Rendimenti a confronto

<p>CASO DI STUDIO (linea Terni – Sulmona)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2.000 kWh/treno • 9.900 corse/anno
---	---



---> **Fabbisogno di energia netto complessivo di 20.000 MWh/anno**

TRAZIONE A IDROGENO
46.000 MWh

TRAZIONE ELETTRICA
22.200 MWh

ΔE = 23.800 MWh

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Eletrificazione Total Green

1.155 km

NUOVE ELETRIFICAZIONI IN PROGETTO

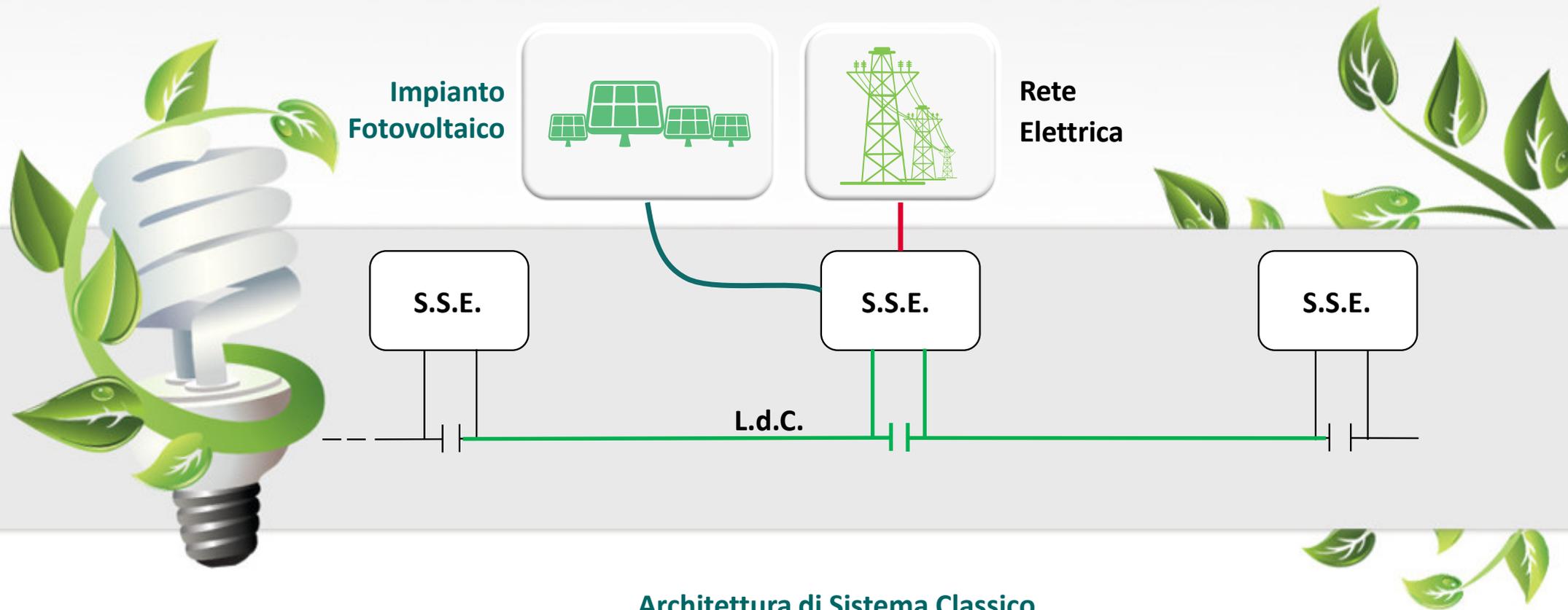
4.645 km

NON ELETRIFICATI



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Elettrificazione Total Green



Architettura di Sistema Classico Impiego di Fonti Rinnovabili

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

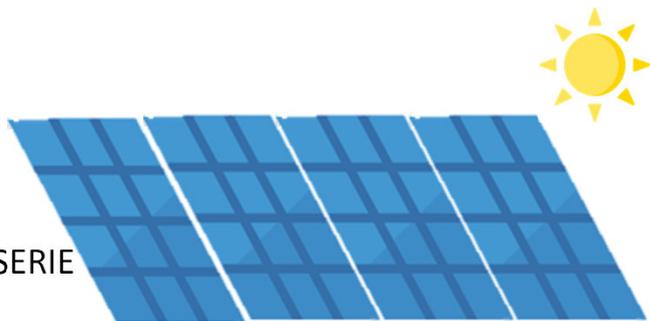
Dal Sole al Treno



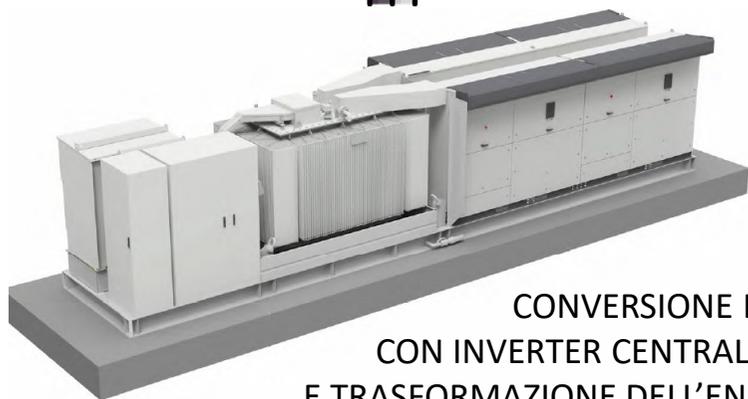
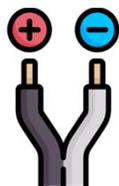
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Architettura di sistema

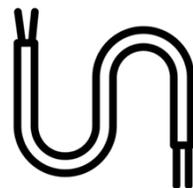
PANNELLI FOTOVOLTAICI CONNESSI IN SERIE



1,5 kV



CONVERSIONE DC/AC CON INVERTER CENTRALIZZATI E TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA

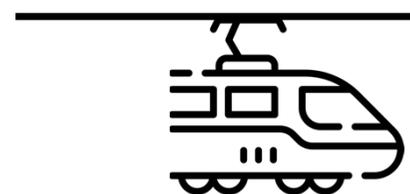
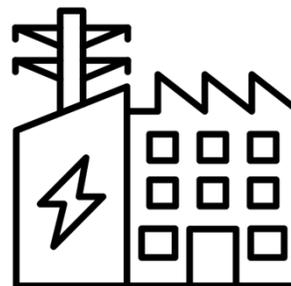


CONNESSIONE IN MT ALLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

20 kV

TRASFORMAZIONE MT/AT NELLE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

132/150 kV



LINEA DI CONTATTO

3 kVcc

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Attività preliminari impianti autoproduzione

1

ANALISI VINCOLI AMBIENTALI

2

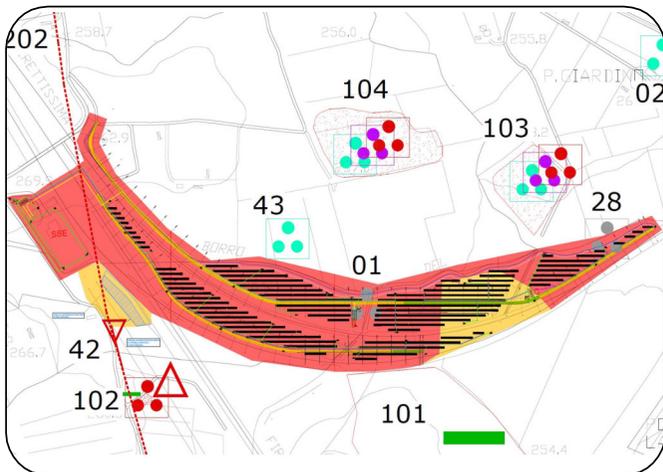
ANALISI IDRAULICA

3

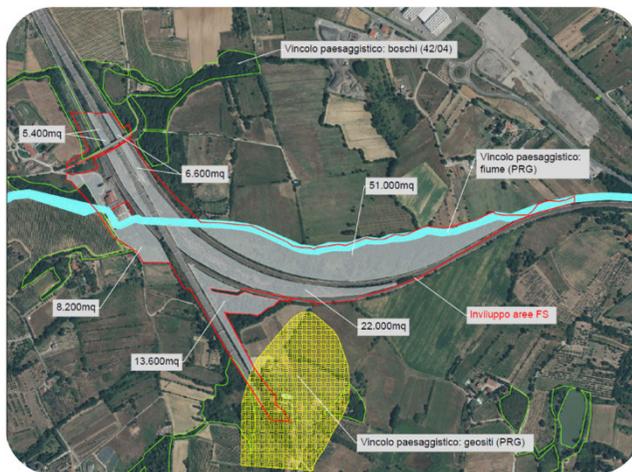
ANALISI GEOLOGICA

4

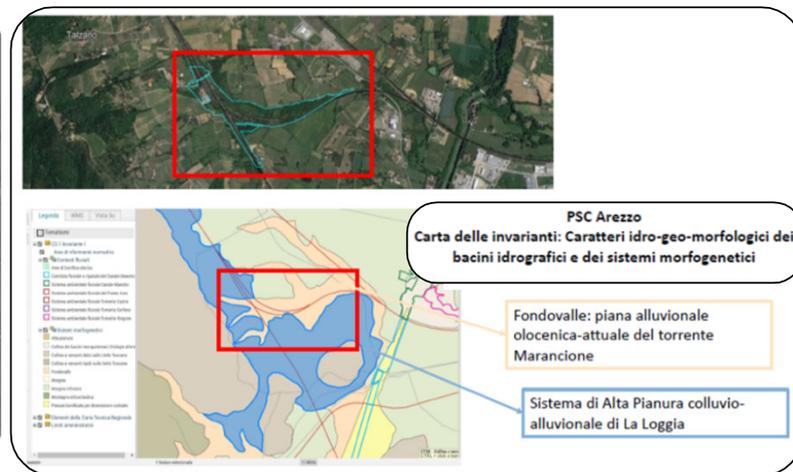
ANALISI ARCHEOLOGICA



ANALISI DEL CONTESTO ARCHEOLOGICO



ANALISI VINCOLI AMBIENTALI E IDRAULICI



ANALISI DEL CONTESTO GEOLOGICO

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Attività preliminari impianti autoproduzione

1

VERIFICA REALE
DISPONIBILITÀ DELL'ASSET

2

IDONEITÀ AI FINI DELL'INSTALLAZIONE
E DELLA PRODUZIONE

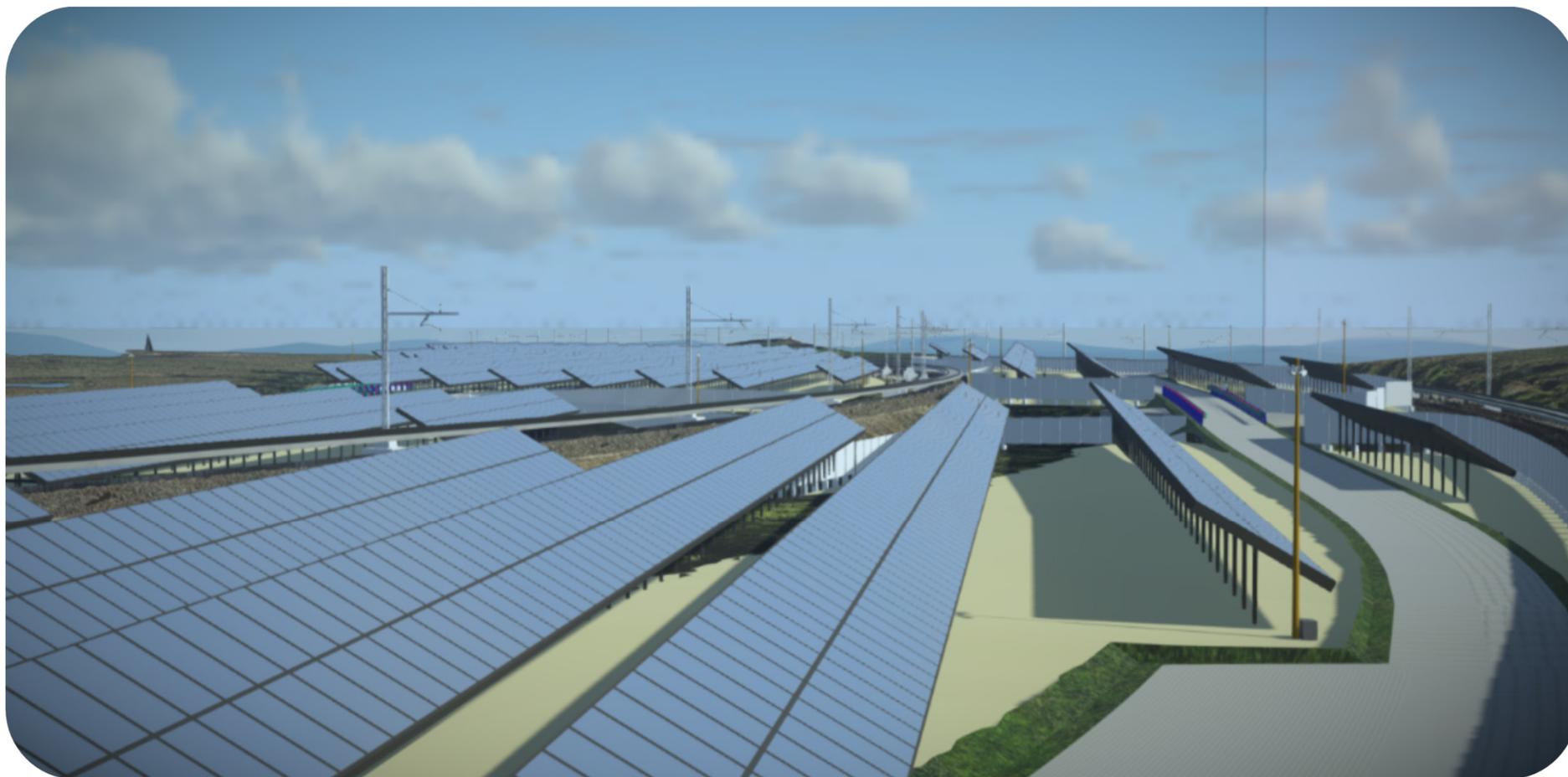
3

VERIFICA IDONEITÀ SOTTOSTAZIONE
E INTERCONNESSIONE TERNA



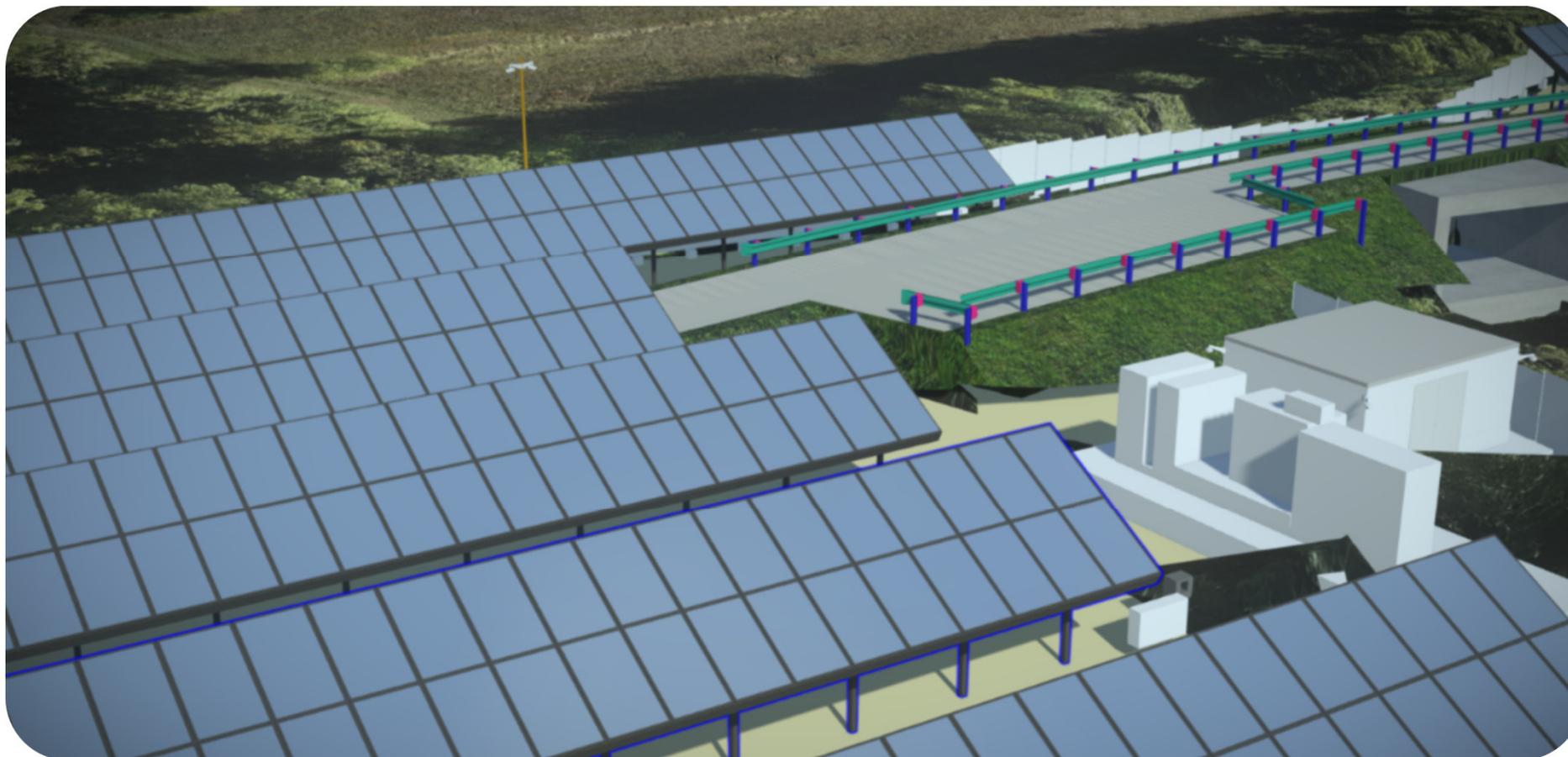
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Esempio sviluppo di progetto Total BIM



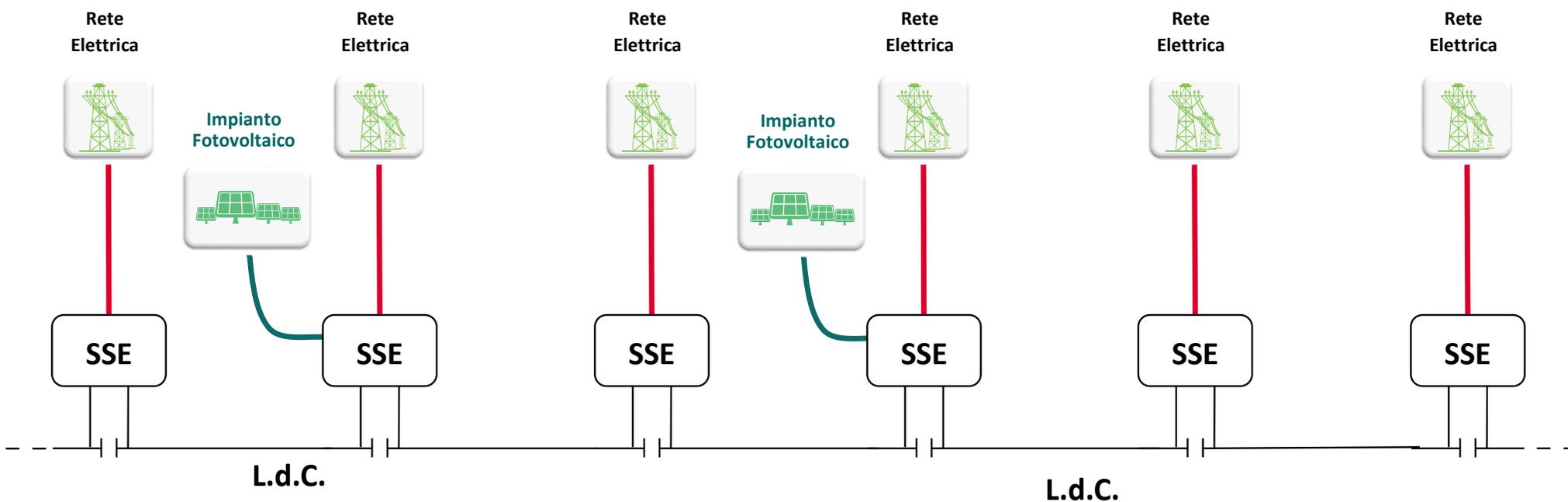
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Esempio sviluppo di progetto Total BIM



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Elettificazione total green – Studio su tratta Cagliari Oristano



**POTENZA GENERATA DA FONTI RINNOVABILI
IN CONDIZIONI DI NORMALE ESERCIZIO**

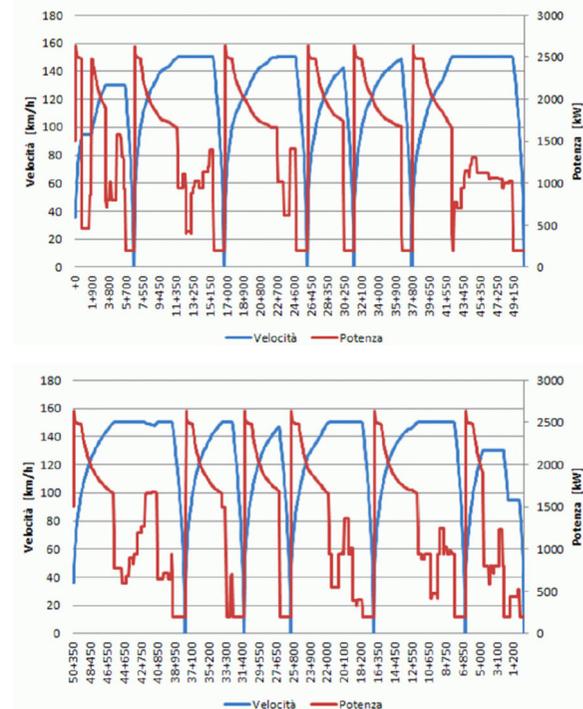


**POTENZA GENERATA DA FONTI RINNOVABILI
CON REGOLAZIONE DELLA TENSIONE IN SSE**

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Simulazioni di studio tratta Cagliari Oristano

9 TRENI TOTALI IN ESERCIZIO								
		POTENZA SSE1 [MW]	POTENZA SSE2 CON PV [MW]	POTENZA SSE3 [MW]	POTENZA SSE4 CON PV [MW]	POTENZA SSE5 [MW]	POTENZA SSE6 [MW]	POTENZA TOTALE
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	1	1,281	2,218	2,408	3,446	1,769	0,352	11,47
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	2	1,277	2,222	2,433	3,348	1,784	0,426	11,49
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	3	1,274	2,223	2,458	3,248	1,799	0,499	11,50
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	4	1,263	2,17	2,556	3,151	1,813	0,573	11,53
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	5	1,252	2,114	2,652	3,052	1,826	0,646	11,54
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	6	1,24	2,058	2,746	2,951	1,838	0,719	11,55
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	7	1,227	2	2,838	2,849	1,849	0,701	11,46
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	8	1,214	1,941	2,928	2,745	1,859	0,863	11,55
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	9	1,199	1,882	3,015	2,64	1,868	0,934	11,54
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	10	1,199	1,88	3,004	2,567	1,879	1,004	11,53
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	11	1,198	1,878	2,991	2,492	1,888	1,074	11,52
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	12	1,212	1,934	2,879	2,45	1,889	1,143	11,51
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	13	1,225	1,989	2,765	2,407	1,908	1,211	11,51
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	14	1,237	2,044	2,653	2,395	1,837	1,337	11,50
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	15	1,248	2,098	2,539	2,382	1,764	1,461	11,49
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP +0%	16	1,258	2,151	2,422	2,364	1,625	1,405	10,23
		1,24	2,05	2,71	2,78	1,82	0,83	11,43
		10,8%	17,9%	23,7%	24,3%	16,0%	7,3%	100,0%
		SE2+SE4	42,3%					



CONDIZIONI DI NORMALE ESERCIZIO: Circa il 40% del fabbisogno energetico potrebbe essere fornito da SSE con impianti FV.

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Simulazioni di studio tratta Cagliari Oristano: regolazione della tensione

		POTENZA SSE1 [MW]	POTENZA SSE2 CON PV [MW]	POTENZA SSE3 [MW]	POTENZA SSE4 CON PV [MW]	POTENZA SSE5 [MW]	POTENZA SSE6 [MW]	POTENZA TOTALE
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	1	0,406	4,337	0,487	4,554	1,452	0,303	11,54
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	2	0,402	4,34	0,512	4,46	1,467	0,377	11,56
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	3	0,398	4,341	0,538	4,364	1,481	0,451	11,57
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	4	0,383	4,291	0,641	4,27	1,494	0,525	11,60
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	5	0,368	4,24	0,742	4,173	1,506	0,599	11,63
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	6	0,352	4,187	0,841	4,074	1,518	0,672	11,64
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	7	0,336	4,132	0,938	3,973	1,529	0,745	11,65
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	8	0,319	4,077	1,033	3,87	1,538	0,817	11,65
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	9	0,301	4,02	1,125	3,765	1,547	0,889	11,65
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	10	0,301	4,019	1,113	3,693	1,557	0,96	11,64
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	11	0,3	4,017	1,098	3,62	1,566	1,03	11,63
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	12	0,317	4,071	0,979	3,58	1,577	1,099	11,62
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	13	0,333	4,124	0,856	3,539	1,587	1,167	11,61
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	14	0,349	4,176	0,738	3,53	1,514	1,294	11,60
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	15	0,364	4,228	0,616	3,519	1,439	1,42	11,59
01 - 9 TRENI, 2 SSE CON PV, TAP -5%	16	0,379	4,277	0,492	3,504	1,305	0,357	10,31
		0,35	4,18	0,80	3,91	1,50	0,79	11,53
		3,0%	36,2%	6,9%	33,9%	13,0%	6,9%	100,0%
			SE2+SE4					
			70,1%					

REGOLAZIONE DELLA TENSIONE NELLE SSE: il contributo di potenza fornita da fonti rinnovabili cresce significativamente.

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Trazione a batterie: analisi e configurazione ottimale

Sistema	Tratta [km] < 50	Elevate pendenze	Traffico intenso	Interferenze sul tracciato	Necessità acquisto nuovi treni in sostituzione per quelli Diesel
Treno a batterie	+	-	--	+	+
Elettrificazione	=	+	++	--	=
Elettrificazione parziale	=	+	-	++	+

Parametri di valutazione

Soluzione ottimale:

- 1 Analisi specifiche in relazione alle caratteristiche del tracciato e del traffico sulla linea
- 2 Valutazione Economica: Valutazione dei costi di investimento e di esercizio (Infrastruttura, superamento interferenze, e materiale rotabile)

L'Elettrificazione Parziale potrebbe essere la soluzione migliore in linee di notevole lunghezza e con notevoli interferenze di realizzazione (es. gallerie storiche, ponti, ecc.)

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Impiego treni a batterie: analisi ed opportunità – elettrificazione light



Analisi Energetica

Valutazione dell'Energia richiesta dal Sistema di Trazione nelle diverse configurazioni.

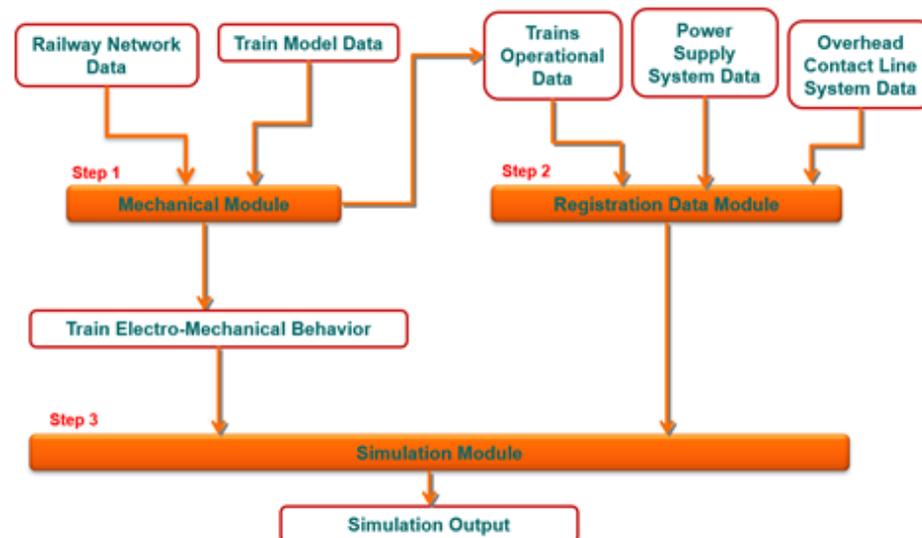
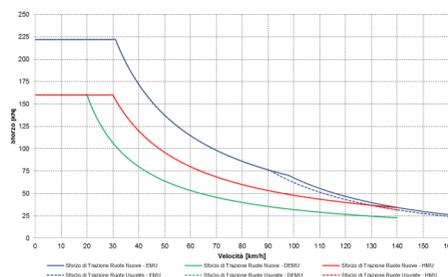


Analisi Economica

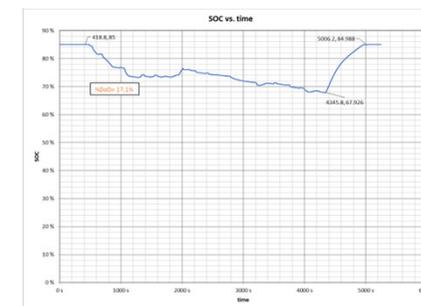
Valutazione dei costi relativi alla realizzazione dell'infrastruttura, risoluzione delle interferenze, eventuale acquisto di nuovi treni, ecc.



Simulazioni Di Marcia



Analisi Energetica



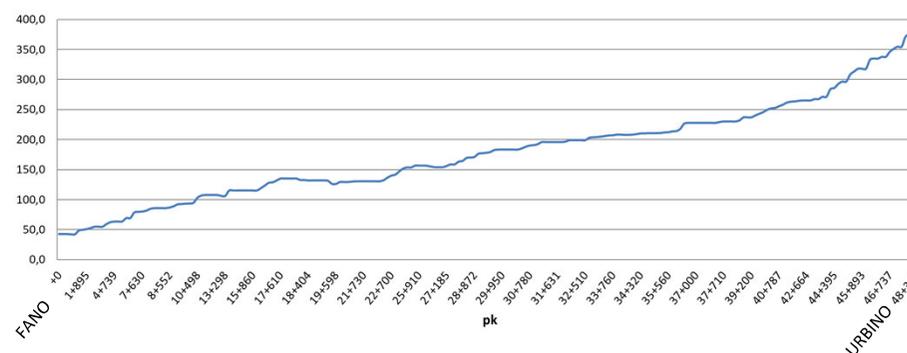
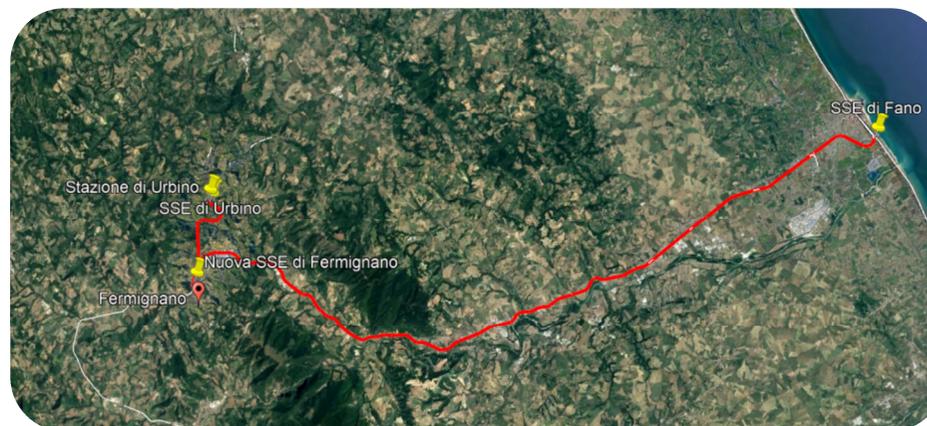
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Esempio: studio su tratta Fano Urbino

CARATTERISTICHE TRACCIATO:

• LUNGHEZZA LINEA	49 Km
• PENDENZA MASSIMA	25 ‰
• FERMATE	10
• BASSO TRAFFICO REGIONALE	2tr/h

ELEVATO NUMERO DI
INTERFERENZE NELLA PARTE
FINALE DEL TRACCIATO

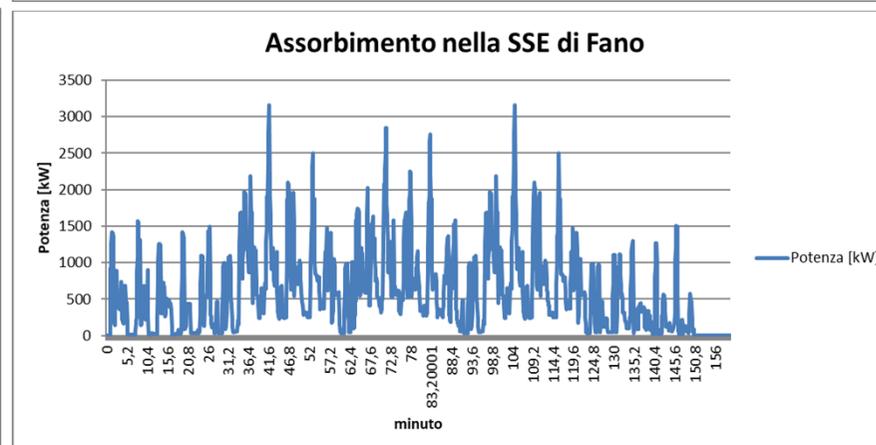
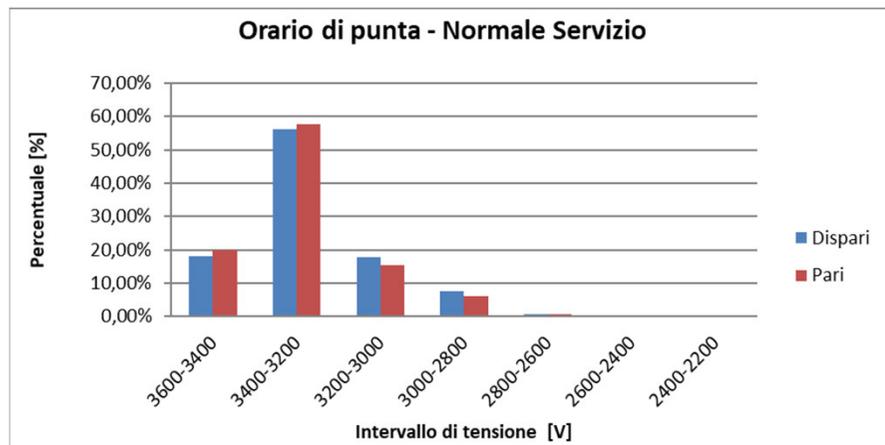
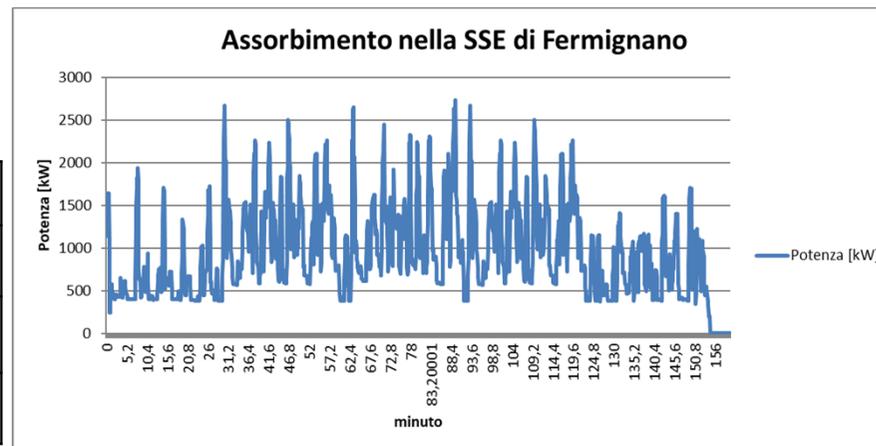


UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Esempio: studio su tratta Fano Urbino

VALORI DI TENSIONE E DI POTENZA SULLA LINEA

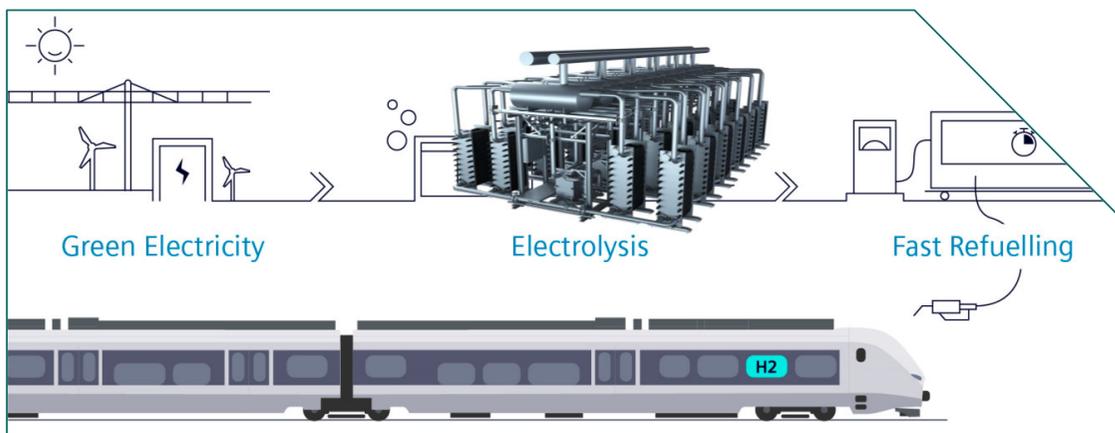
	Direzione	Normale servizio	Limiti Normativi
Tensione media [V]	Fano-Fermignano	3282	-
	Fermignano - Fano	3296	
Tensione media utile [V]	Fano-Fermignano	3213	2800
	Fermignano - Fano	3199	
Tensione minima [V]	Fano-Fermignano	2703	2000
	Fermignano - Fano	2679	



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Componenti Impianto

- Produzione tramite elettrolizzatori.
- Compressori.
- Serbatoi di stoccaggio.
- Dispenser per rifornimento treni.



UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Criteri di Dimensionamento

Dimensionamento della produzione e dei serbatoi di stoccaggio di Idrogeno:

- Ipotesi sui possibili scenari trasportistici.
- modello di esercizio ipotizzato per la tratta in oggetto (numero di treni e km/giorno).
- Dati base sul materiale rotabile, capacità e consumo medio di H₂ del treno (kg/km).
- Capienza e pressione del serbatoio a bordo treno.
- Numero di giorni di autonomia dell'impianto.

Dimensionamento del sistema di rifornimento del treno:

- Quantità di idrogeno da rifornire.
- Tempo medio di rifornimento.



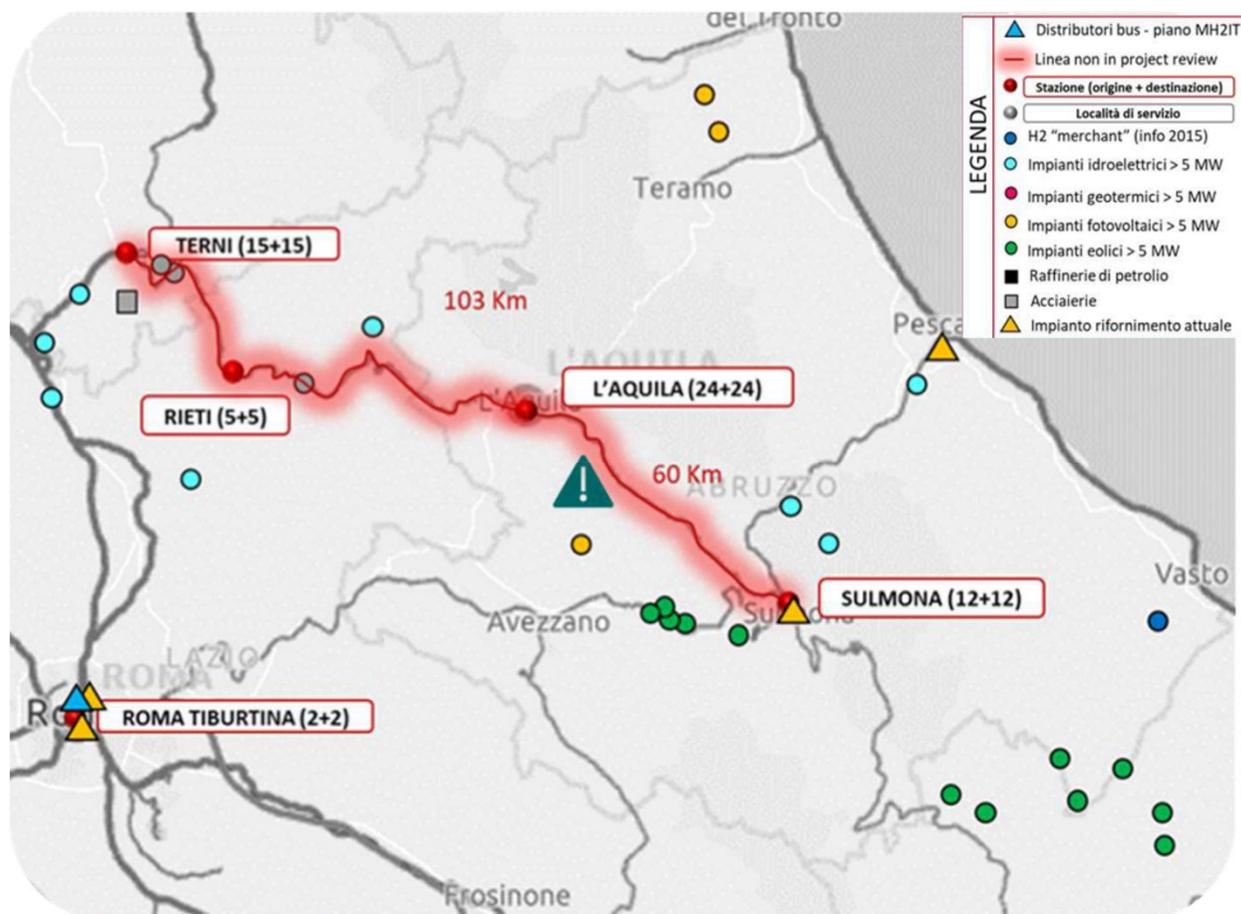
UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Normative di Riferimento

- **Direttive Europee:**
 - Direttiva (UE) 2018/2001.
 - Direttiva (UE) 2019/1161.
- **Decreti Nazionali:**
 - D.M. 23.10.2018, Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti di distribuzione di idrogeno per autotrazione;
 - D.M. 07.07.2023, Regola tecnica di prevenzione incendi per l'individuazione delle metodologie per l'analisi del rischio e delle misure di sicurezza antincendio da adottare per la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di impianti di produzione di idrogeno mediante elettrolisi e relativi sistemi di stoccaggio.

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Studio Linea Terni-Rieti-L'Aquila-Sulmona



LINEA FERROVIARIA

La linea ferroviaria Terni – Sulmona è un'importante dorsale tra Lazio, Umbria e Abruzzo e si snoda per un percorso totale di 163 Km, passando per Rieti e L'Aquila. L'infrastruttura è attualmente a semplice binario e non elettrificata.

- **Terni-L'Aquila:** 103 [km]
- **L'Aquila-Sulmona:** 60 [km]

MODELLO DI ESERCIZIO FERROVIARIO ADOTTATO

Tratta	Sviluppo servizi [tr*km/gg]	N. treni totali (inc. scorte 15%)	Fabbisogno giornaliero [kg]
Terni - Rieti - L'Aquila	4.120	10	1.288
L'Aquila - Sulmona - Pescara	3.400	7	1.063

SOLUZIONI PROGETTATE

Sono stati progettati 2 impianti di rifornimento, uno a Terni e uno a Sulmona, per ciascuna delle due soluzioni:

- **Soluzione con produzione di idrogeno**

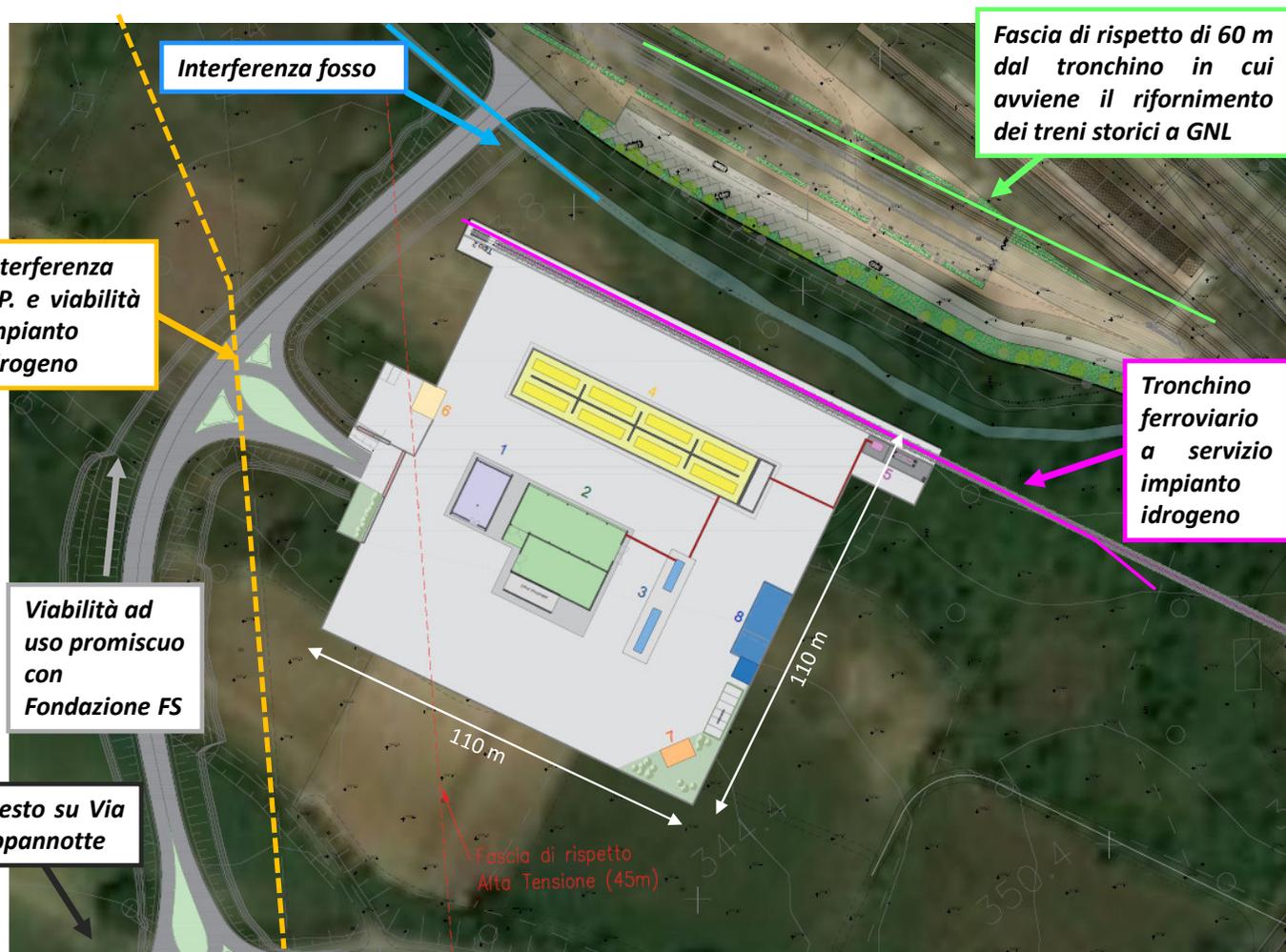
Il progetto prevede un impianto di produzione di H2 con elettrolizzatore PEM con stazione di compressione, serbatoi di stoccaggio e dispenser per il riempimento dei serbatoi a bordo treno.

- **Soluzione senza produzione di idrogeno**

Il progetto prevede il trasporto dell'H2 da altro impianto tramite carri bombolai, il riempimento dei serbatoi di stoccaggio tramite la stazione di compressione e dispenser per il riempimento dei serbatoi a bordo treno.

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Layout Sulmona - Soluzione con produzione



PRODUZIONE

- Fabbisogno giornaliero di H₂: 1.100 kg/gg
- N° elettrolizzatori: 9 MW
- Produz.a regime: 1.200 kg/gg su 8 ore
- Capacità produttiva oraria: 150 kg/h

STOCCAGGIO

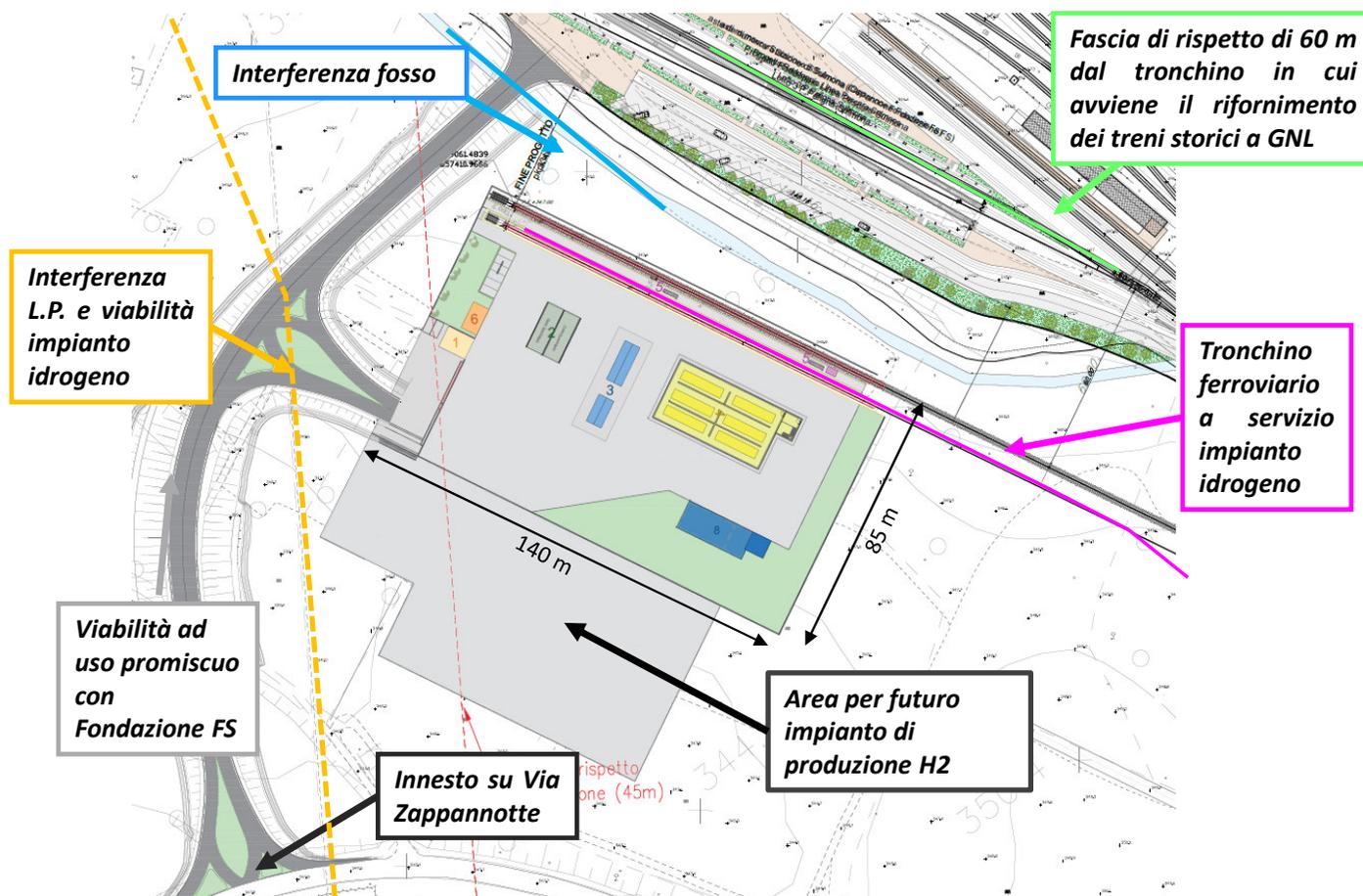
- **Riserva stoccata:** c.a. 3 giorni consecutivi con fermo di produzione
- **Setup serbatoi:** 8 serbatoi (6 x 500 kg a 250 atm + 2 x 500 kg a 500 atm) in una vasca frazionata da setti
- Prevista una piazzola attrezzata per carri bombolai con fornitura da terze parti in caso di fermo di produzione prolungato.

RIFORNIMENTO

- **Tempo di rifornimento treni:** 19 minuti
- **Portata:** c.a. 420 kg/h
- **N° Dispenser:** 1 (rifornim. a più stadi, 1 collegam. a 250 atm e 1 a 500 atm)
- **N° binari di rifornimento:** 1

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Layout Sulmona – Soluzione senza produzione



ESIGENZE

- Fabbisogno giornaliero di H2: 900 kg/gg

STOCCAGGIO

- **Riserva stoccata:** c.a. 2 giorni consecutivi.
- **Setup serbatoi:** 6 serbatoi da 500 kg a 500 atm in una vasca frazionata da setti.
- Prevista una piazzola attrezzata per carri bombolai per rifornimento H2.

RIFORNIMENTO

- **Tempo di rifornimento treni:** 30 minuti
- **Portata:** c.a. 260 kg/h
- **N° Dispenser:** 4
- **N° binari di rifornimento:** 2

UN TRASPORTO PIÙ SOSTENIBILE

Criticità Attuali

- 1 Mancanza di Standard Consolidati
- 2 Difficoltà nel reperimento dei produttori dei componenti dell'impianto
- 3 Normativa Europea con vincoli stringenti legati ai criteri del DNSH

Grazie

