

Progetto “PROMO-GNL
Studi e azioni comuni per promuovere l'uso del GNL nei porti commerciali”

“Rete distributiva e trasporto stradale”

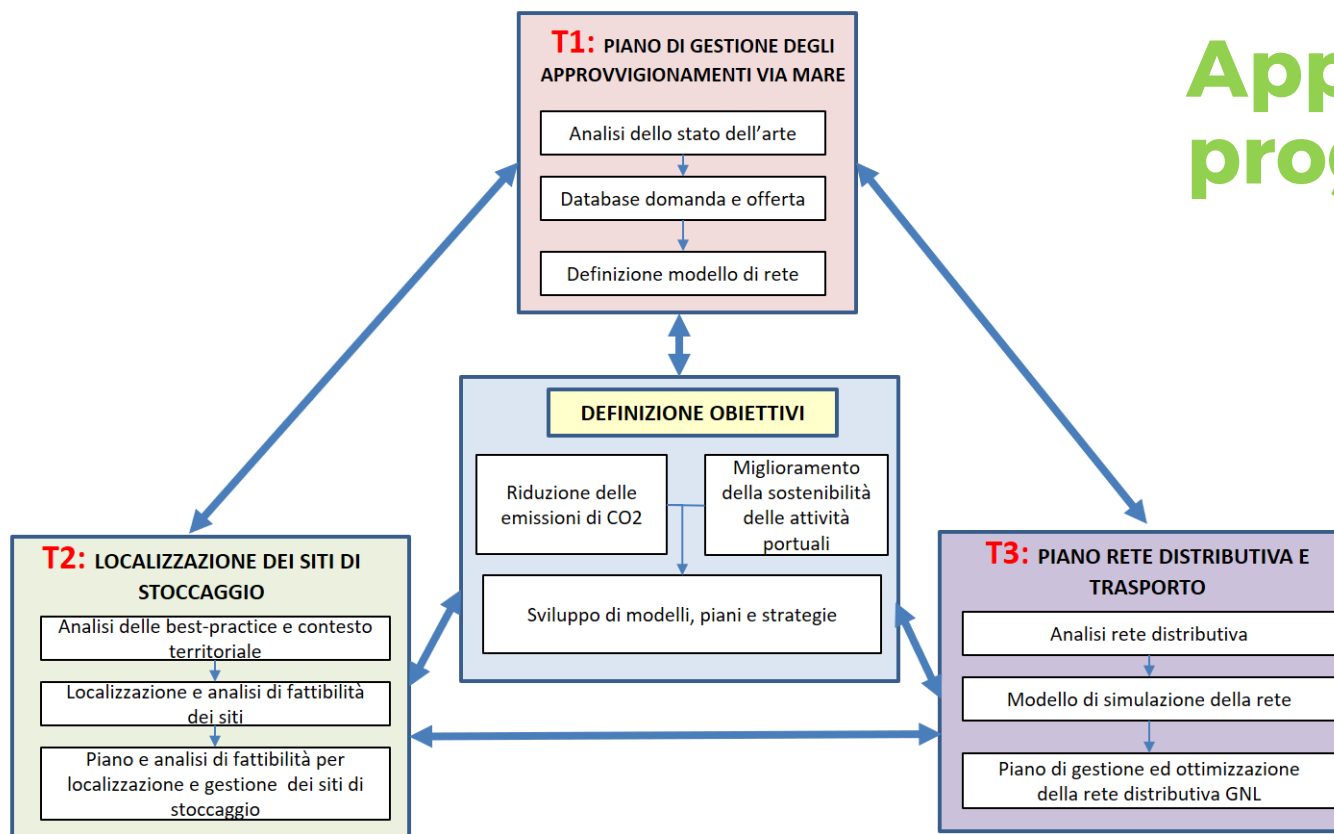
Sessione n. 3: Le soluzioni per l'approvvigionamento primario di GNL

Richiesta di GNL e modello di distribuzione stradale (Progetto SIGNAL)”
03 Giugno 2021

Federico Sollai, Università di Cagliari, Dipartimento Ingegneria Civile,
Ambientale e Architettura



Approccio sistemico al progetto SIGNAL



Nell'ambito del Progetto SIGNAL, è stata sviluppata, per il caso Sardegna, un modello di rete distributiva interna del GNL che tenesse conto del costo del trasporto e della sicurezza in termini sociali ed ambientali.



Modello di distribuzione interna del GNL per la definizione dei percorsi minor costo sociale

OBIETTIVO: Definizione di un modello di distribuzione via strada con autocisterne criogeniche che tenga conto dei parametri di sicurezza e di ottimizzazione dei percorsi in funzione dei potenziali siti di stoccaggio previsti in Sardegna

L'APPROCCIO ADOTTATO PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO

L'analisi della domanda di GNL in Sardegna e Downstream del GNL

Definizione del modello di distribuzione

Valutazione dei flussi di traffico sulla rete stradale della Sardegna (leggero/pesante)

verifica della configurazione della rete distributiva GNL sull'isola

Determinazione del danno potenziale associato ai sinistri riferite ai danni conseguenti nei confronti dell'ambiente e della popolazione esposta

Valutazione per ogni singolo arco della rete stradale sarda del rischio sociale associato al transito di un'autobotte criogenica

Individuazione, in funzione delle diverse configurazione delle rete ipotizzate, degli itinerari di minimo rischio sociale per la distribuzione del GNL, e determinazione dei corrispondenti costi

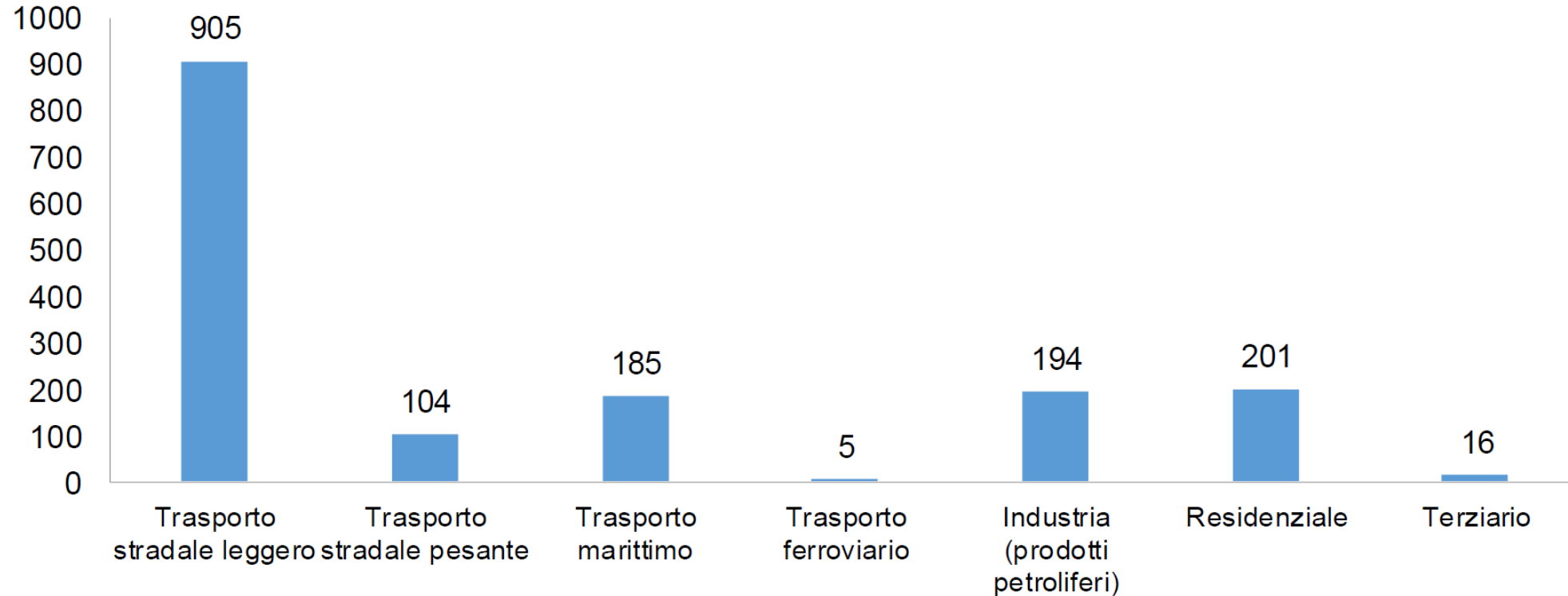
L'ANALISI DELLA DOMANDA DI GNL

GLI SCENARI DI PENETRAZIONE DEL GNL IN SARDEGNA: L'ANALISI DELLA DOMANDA

Lo scenario “Base” di penetrazione assume come presupposto l'assenza di nuove misure di sostegno per la diffusione del GNL e del GNC come combustibile alternativo nel trasporto stradale e marittimo, la mancata adozione di nuove misure di politica ambientale come l'istituzione di un'area SECA nelle acque della Sardegna, e il mantenimento del quadro regolatorio rilevante introdotto dall'ARERA nel 2019 per le reti di distribuzione (ARERA, delibera 474/2019/R/gas del 19 novembre 2019) e le infrastrutture di approvvigionamento di GNL ARERA, delibera 570/2019/R/gas), senza l'attuazione di quanto previsto per la metanizzazione della Sardegna negli indirizzi del PNIEC e dalle disposizioni dell'articolo 60 del DL semplificazioni.

Lo scenario “Alta penetrazione” si basa invece sulla introduzione di nuove misure di sostegno per la diffusione del GNL e del GNC come combustibile alternative nel trasporto stradale e marittimo, l'attuazione di nuove misure di politica ambientale come **l'istituzione di un'area SECA** nelle acque della Sardegna, e la **l'attuazione di quanto previsto per la metanizzazione della Sardegna negli indirizzi del PNIEC** e dalle disposizioni dell'articolo 60 del DL semplificazioni, con **l'introduzione di interventi di regolazione per le infrastrutture necessarie alla metanizzazione che consentano una piena integrazione della rete (di trasporto e distribuzione) del gas naturale in Sardegna con quella nazionale con l'applicazione dei meccanismi di perequazione nei costi di infrastruttura che vengono applicati nel resto del Paese alla rete di trasporto e alle reti di distribuzione**

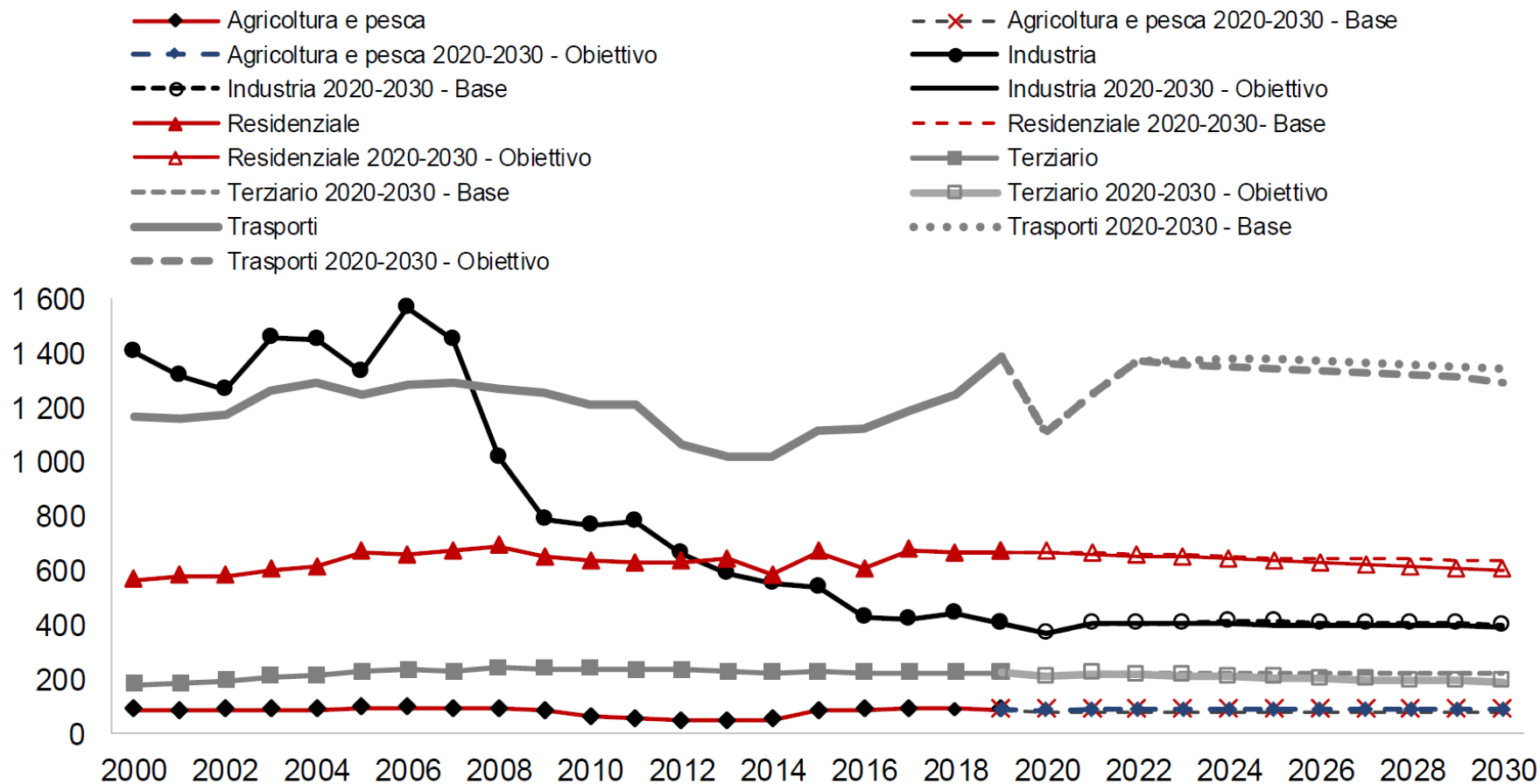
La domanda energetica in Sardegna 2019



Fonte: elaborazione REF-E

Sardegna: consumi finali di prodotti petroliferi nei settori target della metanizzazione, 2019 (ktep)

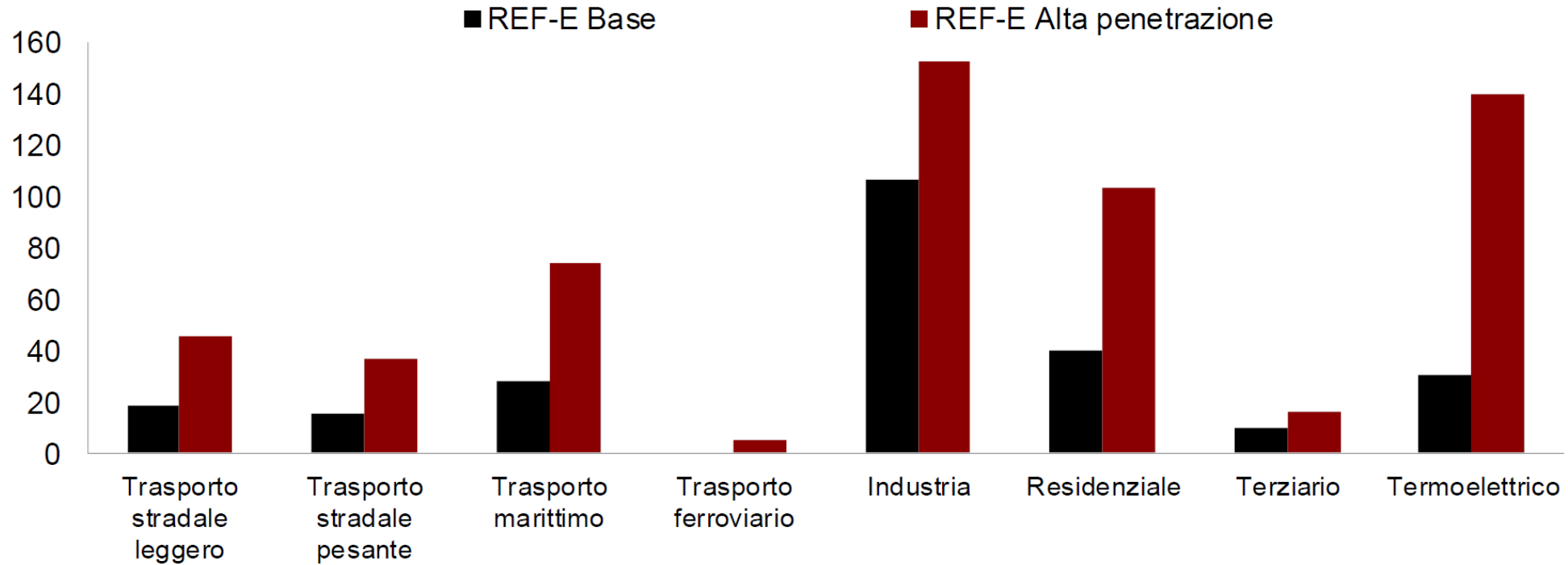
La domanda energetica in Sardegna e gli scenari



Fonte: elaborazioni e stime REF-E su dati Tema, Mse, Enea, Gse e Regione Sardegna

Sardegna: consumi FINALI di energia 2000-2019 e previsioni e scenari 2020-2030 (le stime non tengono conto della riattivazione della filiera dell'Alluminio)

Gli scenari della potenziale domanda di GNL in Sardegna



Fonte: elaborazione REF-E

Sardegna: scenari di penetrazione del gas naturale al 2030 (ktep)

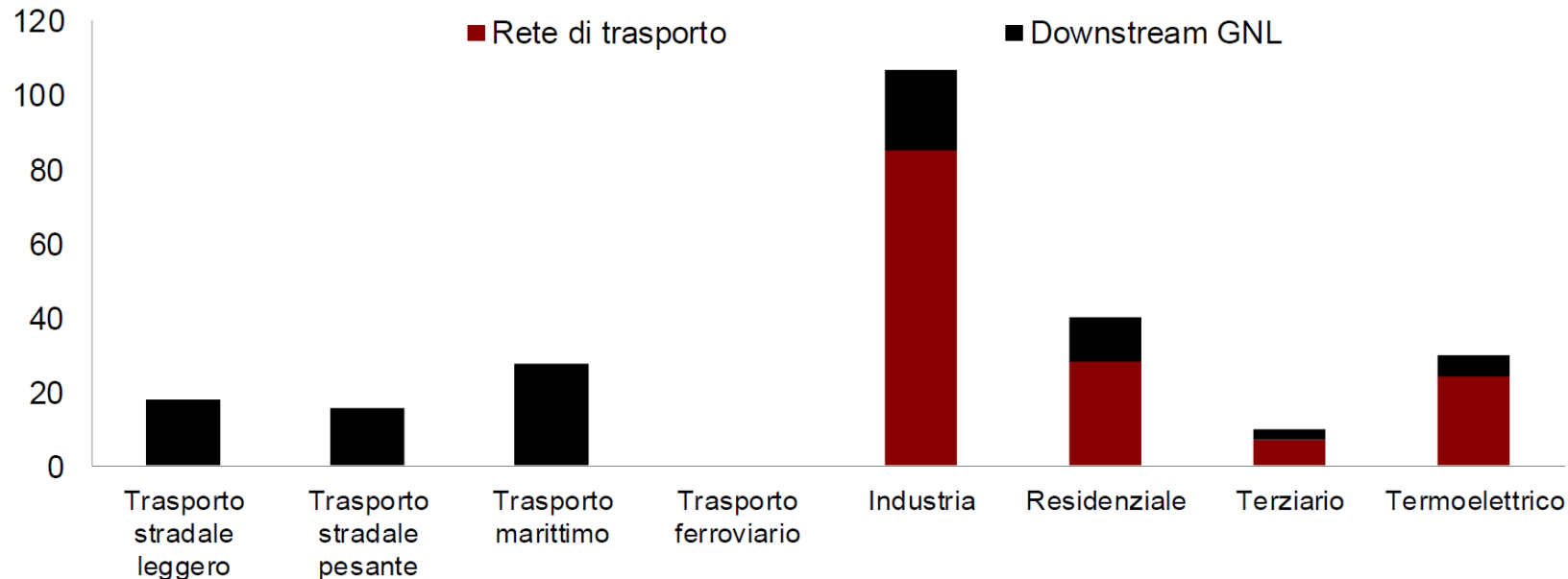
La domanda energetica in Sardegna AL 2030

Nel suo complesso gli scenari prevedono le seguenti quote di penetrazione del GNL

- **SCENARIO BASE di penetrazione** del gas naturale nel 2030 mostra una richiesta di approvvigionamento presso i depositi costieri di **197.000 t/a (circa 460.000 m³/a) di GNL**, pari a 248 ktep).
- **SCENARIO DI ALTA penetrazione** del gas naturale nel 2030 mostra invece una richiesta di approvvigionamento presso i depositi costieri di circa **455.000 t/a (circa 1.060.000 m³/a) di GNL**, pari a 572 ktep).

Ruoli rete di trasporto e downstream del GNL (SCENARIO BASE)

- Scenario base di penetrazione** del gas naturale (vedi Figura) nel 2030 la richiesta di approvvigionamento presso i depositi costieri sarà di **197.000 t/a di GNL (248 ktep)** di cui è prevedibile che circa il **42% pari a circa 82.000 t/a (104 ktep)** verranno veicolate tramite il **downstream del GNL**, e che circa il 58% pari a 160 Msmc di gas naturale (144 ktep) verranno veicolati, dopo la rigassificazione, tramite la rete di trasporto e quelle di distribuzione.

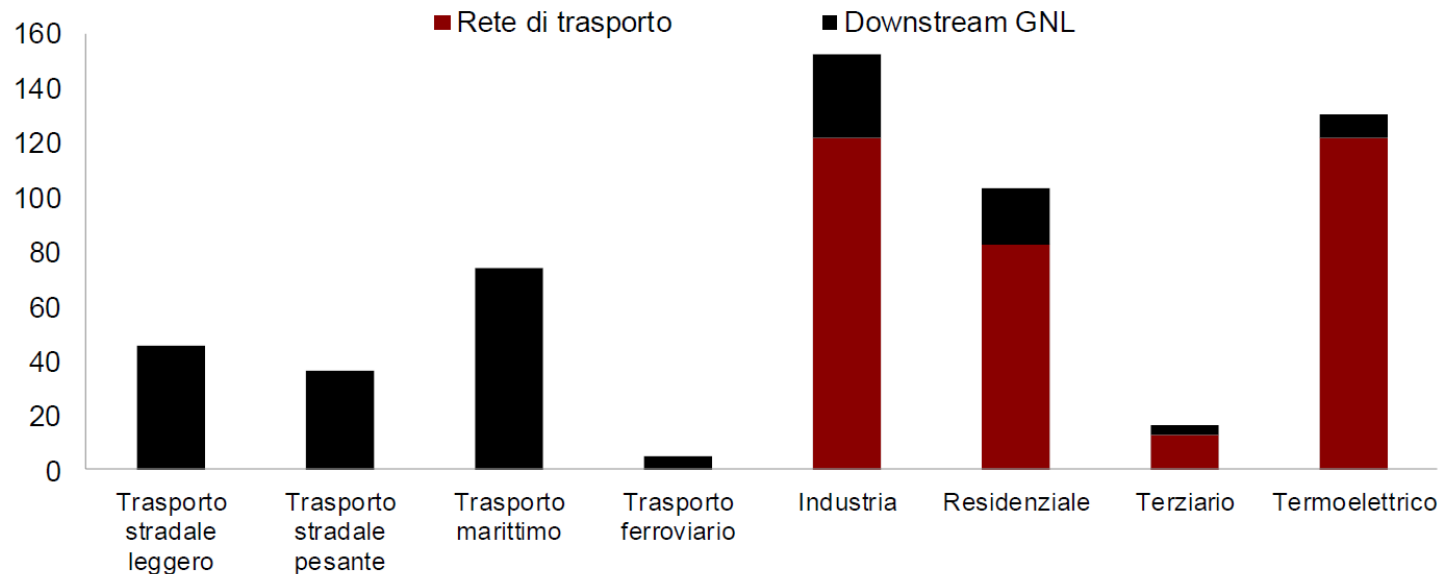


Fonte: elaborazione REF-E

Sardegna: rete e downstream GNL nello scenario **base di penetrazione** del gas naturale al 2030 (ktep)

Ruoli rete di trasporto e downstream del GNL

- **Scenario di alta di penetrazione** del gas naturale (vedi Figura) nel 2030 la richiesta di approvvigionamento presso i depositi costieri sarà di circa **454.000 t/a di GNL (572 ktep)** di cui **è prevedibile che circa il 40% pari a 177.000 t/a (233 ktep) verranno veicolate tramite il downstream del GNL**, e che il circa il 60% pari a 376 Msm³ di gas naturale (339 ktep) verranno veicolati, dopo la rigassificazione, tramite la rete di trasporto e quelle di distribuzione.



Fonte: elaborazione REF-E

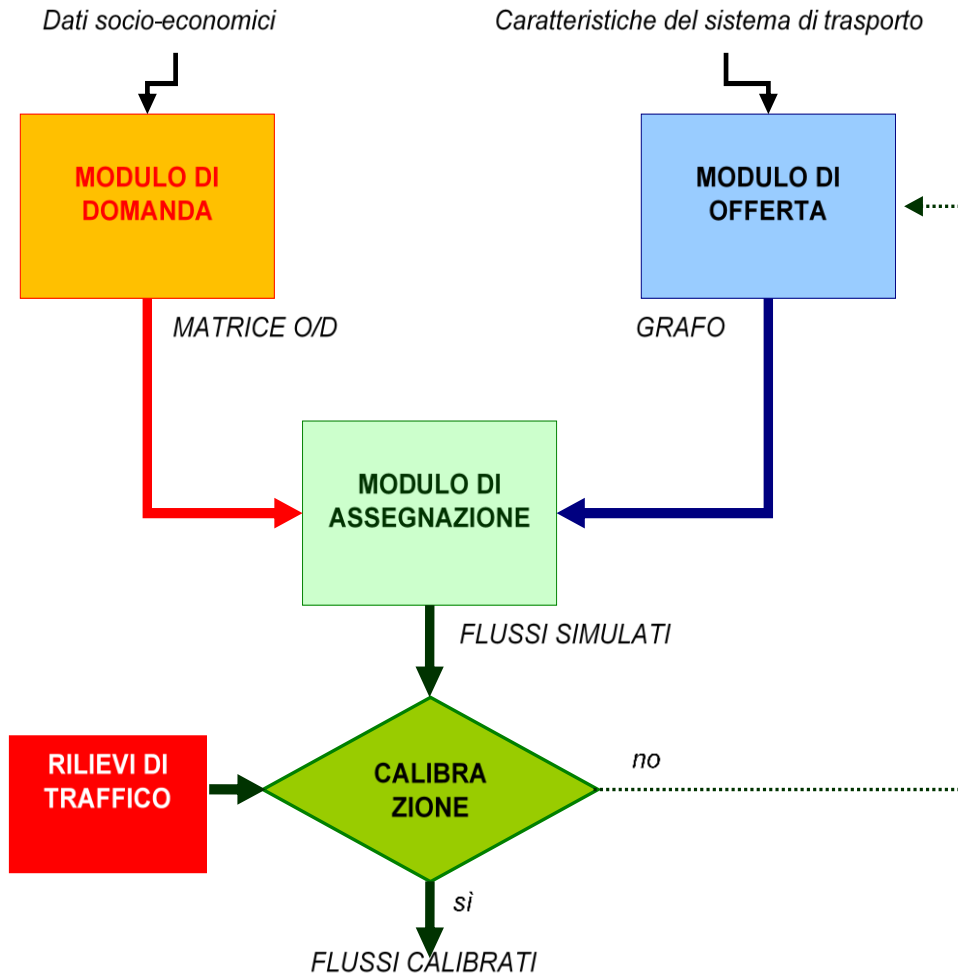
Sardegna: rete e downstream GNL nello scenario di **alta penetrazione** del gas naturale al 2030 (ktep)

IL MODELLO DI DISTRIBUZIONE LOGISTICA INTERNA DEL GNL IN SARDEGNA

METODOLOGIA PROPOSTA PER LA DISTRIBUZIONE INTERNA DEL GNL

La metodologia adottata si articola nei seguenti passaggi fondamentali:

- **Definizione dei flussi di traffico sulla rete e modello di simulazione**
- **verifica della configurazione della rete distributiva GNL sull'isola**, in relazione alle iniziative in corso, nonché a considerazioni d'ordine teorico relative alla distribuzione ottimale dei punti-rete deputati alla vendita di carburante per autotrazione, e conseguente determinazione della matrice origine/destinazione (O/D) dei movimenti annuali di autocisterne criogeniche nelle situazioni SOMD (single origin multiple destination, caso in cui l'unico punto di sbarco è costituito dal porto di Oristano) e MOMD (multiple origin multiple destination, caso in cui si aggiungono gli scali di Porto Torres, Golfo Aranci, Portovesme e Cagliari);
- **analisi dei dati di incidentalità sulla rete stradale sarda**, con stima della probabilità di un sinistro che coinvolga un'autobotte criogenica;
- **stima del danno potenziale associato a tale sinistro**, con riferimento alle conseguenze sulla popolazione umana (occupanti dei veicoli in transito e residenti nei pressi della strada) e sull'ambiente naturale (aree ricomprese nella rete Natura 2000);
- **Calcolo del rischio sociale associato al transito di un'autobotte criogenica** su ciascun singolo arco della rete stradale sarda come prodotto dei due precedenti fattori, ;
- **identificazione degli itinerari di minimo rischio sociale**, e determinazione dei corrispondenti costi, nelle diverse configurazioni di rete ipotizzate.



Schema logico di costruzione del modello di simulazione del traffico

COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Ricostruzione dell'assetto dei flussi di traffico circolanti sulla rete in un giorno feriale medio del 2019.

COSTRUZIONE DEL GRAFO E GERARCHIZZAZIONE DELLA RETE STRADALE DELLA SARDEGNA

E' stato costruito il grafo ed è stata gerarchizzata la rete stradale regionale che permette il collegamento tra i porti ed i punti di consumo interni all'isola.

7700 Km di strade complessive:

- **600 km viabilità principale**
- **1.100 km viabilità secondaria**
- **2.100 km viabilità complementare**
- **3.900 km viabilità locale**

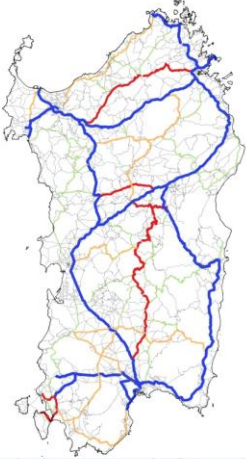
ZONIZZAZIONE REGIONALE

In tutto sono state individuate **417 zone interne:**

- **186 sono riferite a singoli Comuni**
- **172 risultano dalla ripartizione dei Comuni più popolosi e/o estesi in più zone**
- **59 risultano infine dall'aggregazione di più Comuni in una singola zona**

Legenda

— Rete di trasporto stradale
— RETE FONDAMENTALE
— REGIONALE LIVELLO 1
— REGIONALE LIVELLO 2
— REGIONALE LIVELLO 3



COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

REGIONE SARDEGNA MATRICE SPOSTAMENTI STRADALI (veicoli/giorno)

LEGGERI

	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	440.705	1.626	8.788	203	566	242	452.129
95 Prov. Oristano	1.626	116.525	5.237	6.300	2.136	71	131.895
91 Prov. Nuoro	8.788	5.237	137.960	1.383	1.048	95	154.512
111 Prov. Sud Sardegna	203	6.300	1.383	227.499	38.618	146	274.149
92 Prov. Cagliari	566	2.136	1.048	38.618	547.457	212	590.037
OTH Continente	242	71	95	146	212	-	765
TOTALE	452.129	131.895	154.512	274.149	590.037	765	1.603.487

PESANTI

	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	1.505	171	77	267	247	512	2.778
95 Prov. Oristano	171	145	27	120	158	71	693
91 Prov. Nuoro	77	27	74	53	105	70	407
111 Prov. Sud Sardegna	267	120	53	913	1.734	338	3.425
92 Prov. Cagliari	247	158	105	1.734	1.856	209	4.309
OTH Continente	512	71	70	338	209	-	1.200
TOTALE	2.778	693	407	3.425	4.309	1.200	12.811

TOTALI

	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	442.209	1.797	8.865	470	813	753	454.906
95 Prov. Oristano	1.797	116.671	5.264	6.420	2.295	142	132.588
91 Prov. Nuoro	8.865	5.264	138.035	1.436	1.153	165	154.918
111 Prov. Sud Sardegna	470	6.420	1.436	228.412	40.352	484	277.574
92 Prov. Cagliari	813	2.295	1.153	40.352	549.313	421	594.346
OTH Continente	753	142	165	484	421	-	1.965
TOTALE	454.906	132.588	154.918	277.574	594.346	1.965	1.616.298

COSTRUZIONE DELLA MATRICE O/D DEGLI SPOSTAMENTI
 È stata descritta la domanda di mobilità esistente di mezzi pesanti e leggeri attraverso la costruzione della matrice Origine Destinazione giornaliera:

- **1.603.487** movimenti veicoli **LEGGERI** giorno
- **12.811** movimenti veicoli **PESANTI** giorno

PER UN TOTALE DI 1.616.298 VEICOLI GIORNO CIRCOLANTI

COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

ATTRATTIVITÀ DEI SISTEMI TERRITORIALI

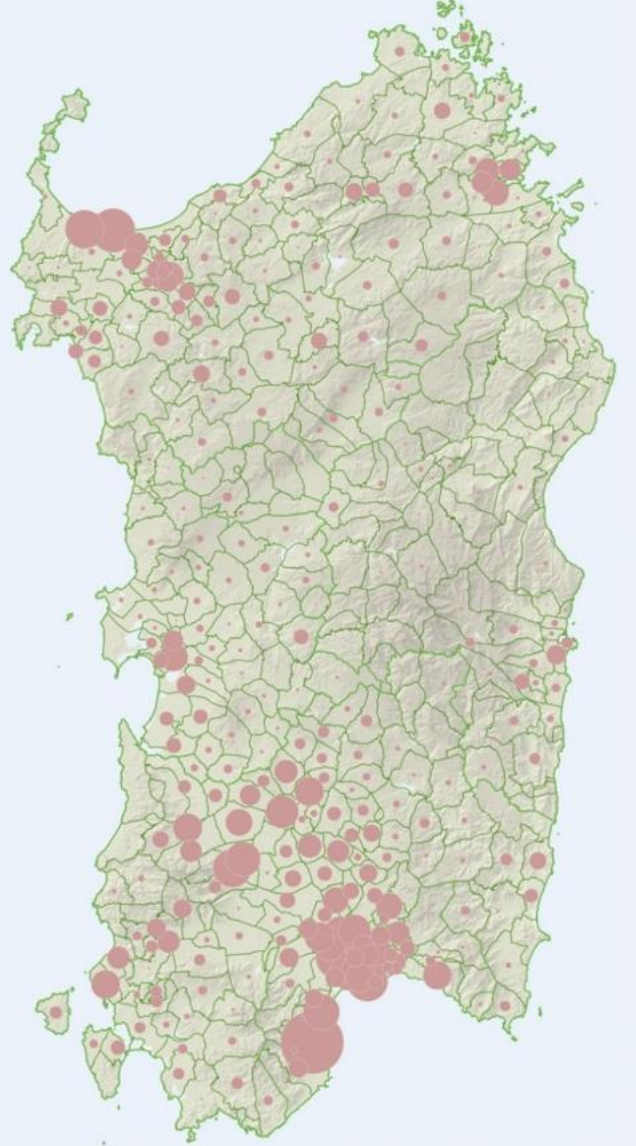
I più rilevanti sono:

- **Sassari-Alghero, Porto Torres e Olbia a nord**
- **Oristano e Tortolì al centro**
- **Sanluri-Villacidro-Iglesias a Sud-Ovest;**
- **Sistema di Cagliari - Zona Industriale a Sud**

CALIBRAZIONE DEL MODELLO

IL MODELLO è STATO CALIBRATO con i flussi di traffico misurati sulla rete stradale:

- **Rilevatori ANAS**
- **Rilevatori città di Cagliari**



COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

LA RETE STRADALE PRESENTA I MAGGIORI FLUSSI VEICOLARI COMPLESSIVI:

- **Nell'area metropolitana di Cagliari 1SS 130, SS 131; SS 554, Asse Mediano, SS 195;**
- **SS 131 direttrice sud-nord (Cagliari verso Sassari Porto Torres Alghero);**
- **SS 131 DCN Verso Nuoro-Olbia**
- **La nuova SS 729 «Sassari Olbia»**
- **SS 130 direttrice Ovest (Cagliari- Iglesias-Portoscuso-Sant'Antioco)**
- **SS 125 Diretrice Est Cagliari - Muravera-Tortoli/Arbatax**

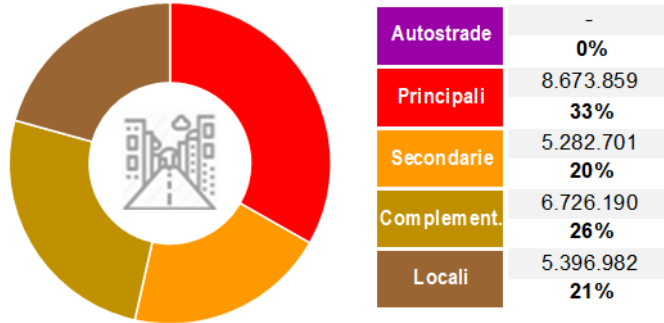
I FLUSSI DEI MEZZI PESANTI SULLA RETE

- **SS 131 direttrice sud-nord (Cagliari verso Sassari Porto Torres Alghero);**
- **SS 130, fino ad Iglesias**
- **SS 131 DCN Verso Nuoro-Olbia**
- **La nuova SS 729 «Sassari Olbia»**
- **SS 195 Cagliari - Sarroch**

COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE



Volumi di traffico - Regione Sardegna

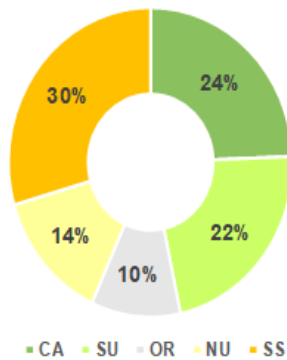


VOLUMI DI TRAFFICO:

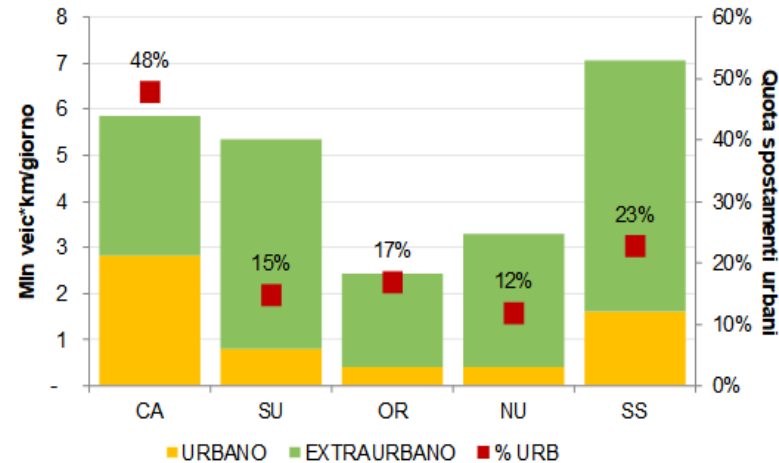
- 26 milioni di veq*km/giorno (di cui il 7,8% pesanti)
- Circa 440 mila vei ora/giorno
- Velocità media di 60 km/h (80 km/h strade principali, 40 km/h in quella locale)

PROVINCIA

24,04 Milioni di vk/giorno



PROVINCIA E CONTESTO

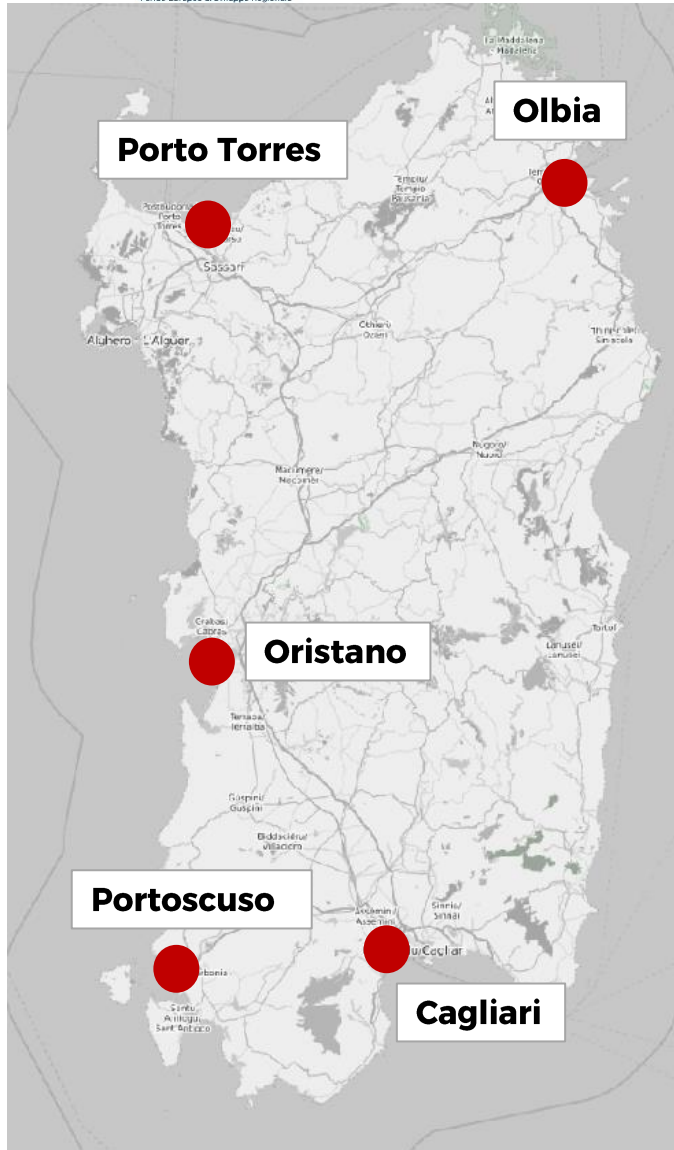


Le percorrenze dei veicoli pesanti si distribuiscono in particolare sulle province di SS e CA








La configurazione potenziale dei punti di deposito di GNL in Sardegna

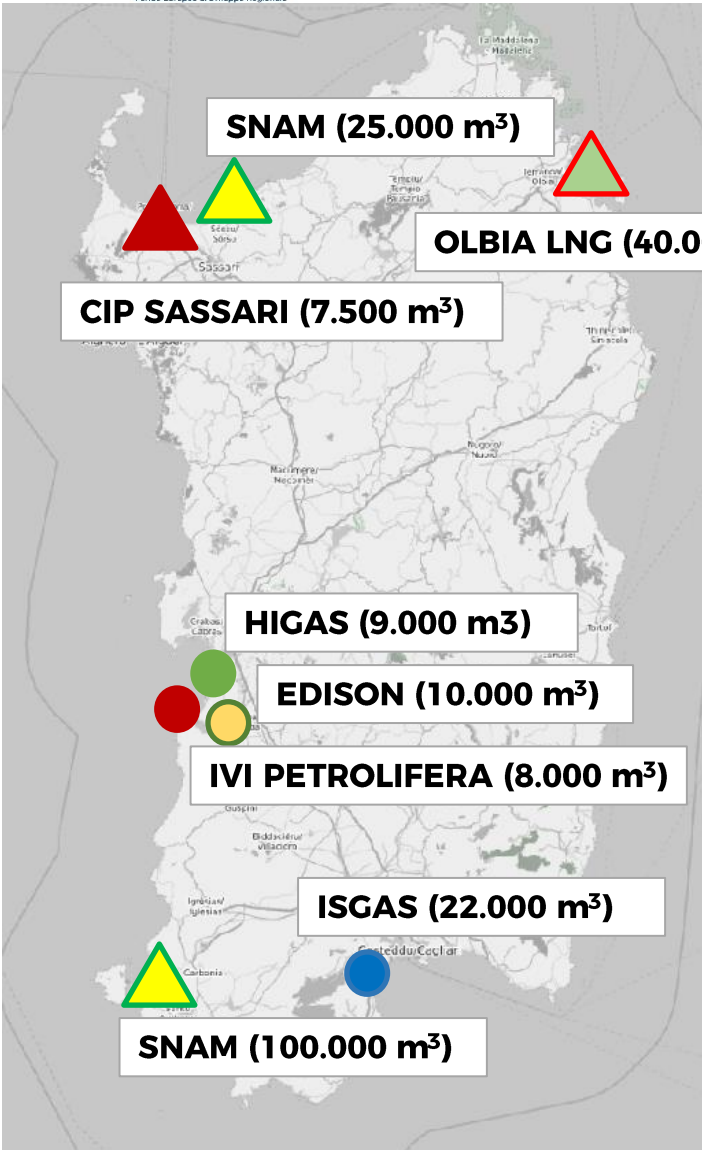
LA RETE DISTRIBUTIVA PUÒ ESSERE COSÌ CONFIGURATA:

- **I Porti dei depositi costieri;**
- **Le località interne di destinazione:**
 - **Depositi locali alimentazione reti off-grid (civili/terziarie/industriali)**
 - **Depositi alimentazione singole utenze industriali;**
 - **Depositi interni destinati alla vendita;**
- **Stazioni di servizio destinate alla vendita di carburante per autotrazione;**



La configurazione potenziale dei punti di deposito costiero di GNL in Sardegna

-  **DEPOSITI COSTIERI IN FUNZIONE (HIGAS SANTA GIUSTA (ORISTANO))**
-  **DEPOSITI COSTIERI AUTORIZZATI (EDISON SANTA GIUSTA (ORISTANO))**
-  **DEPOSITI COSTIERI E RIGASSIFICATORI CON «VIA» APPROVATA (ISGAS CAGLIARI)**
-  **DEPOSITI COSTIERI E RIGASSIFICATORI CON ITER AUTORIZZATIVO ATTIVATO (IVI PETROLIFERA SANTA GIUSTA (ORISTANO))**
-  **DEPOSITI COSTIERI e RIGASSIFICATORI SENZA ITER AUTORIZZATIVO ATTIVATO (CIP SASSARI)**
-  **DEPOSITI COSTIERI SENZA ITER AUTORIZZATIVO ATTIVATO (OLBIA LNG 2050)**
-  **TERMINALE DI STOCCAGGIO E RIGASSIFICAZIONE FSRU SENZA ITER AUTORIZZATIVO ATTIVATO (SNAM PORTO TORRES e PORTOSCUSO)**



La configurazione potenziale dei punti di deposito per reti off-grid rivolte alle utenze fisse

LA RETE DISTRIBUTIVA DEI PUNTI DI **DESTINAZIONE** PUÒ ESSERE COSÌ CONFIGURATA:

- **utenze industriali off-grid** dotate di deposito satellite (dati forniti dalla RAS per le quali è prevedibile lo switching entro il 2030 attraverso il downstreaming del GNL) circa **20 utenze** per complessivi **20.000 t/anno di GNL**
- **utenze fisse civili/terziarie** (reti di distribuzione isolate) per un totale di **43 reti solate** per un consumo di **12.000 t/anno di GNL**



PUNTI RETE PER PROVINCIA

	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	4	4	0	4	8	20
reti distribuzione isolate	15	2	22	3	1	43
Totale Sardegna	19	6	22	7	9	63

DOMANDA DI GNL al 2030 (t/anno)

	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	2.186	3.319	-	8.282	6.185	19.973
reti distribuzione isolate	6.525	188	4.125	563	600	12.000
Totale Sardegna	8.711	3.507	4.125	8.845	6.785	31.973

Valutazione della domanda dei consumi di GNL per i veicoli pesanti per la definizione dei punti delle stazioni di servizio

	Autocarri	Articolati	Totale
Consistenza	16 234	4 876	21 110
km/veicolo/anno	9 094	30 000	13 923
Mvkm/anno	147.63	146.28	293.91
% veicoli a GNL al 2030	2.6%	18.5%	6.3%
Consistenza	422	900	1 321
km/veicolo GNL/anno	18 188	60 000	46 659
Mvkm GNL/anno	7.67	53.98	61.65
% percorrenza GNL al 2030	5.2%	36.9%	12.5%
Consumi GNL (ktep)	1.4	20.1	21.6
% consumi GNL al 2030	5.2%	36.9%	26.3%

Stima consumi di GNL da traffico commerciale pesante nello scenario base al 2030

- **domanda consumi di carburante per veicoli pesanti valutata tenendo in considerazione il tasso di ricambio dei veicoli al 2030**
- **domanda in funzione del tasso di penetrazione delle motorizzazioni alimentate a GNL**

La configurazione potenziale dei punti di rete delle stazioni di servizio

LA RETE DISTRIBUTIVA DEI PUNTI DI **DESTINAZIONE** DELLE STAZIONI DI SERVIZIO

- stima di un assetto ottimale, sviluppato sulla base del tasso di ricambio dei veicoli commerciali e pesanti nello scenario «base» al 2030,
- Profittabilità dell'installazione di un erogatore di GNL pari ad una soglia minima dell'ordine dei **3 ktep/anno**, che conduce a circa **7 punti vendita totali**
- confronto con le stazioni di servizio la cui entrata in esercizio è già prevista (**porto di Oristano, Villacidro, Uras**)
- Individuazione dei tratti della rete stradale interessata dal maggior numero di vkm pesanti /anno
- Sono state localizzate le stazioni di servizio a cui sono attribuibili i minori costi generalizzato
- Riduzione delle distanze medie dalla stazione di servizio più vicina

RETE DI DISTRIBUZIONE - AREE DI SERVIZIO

- Aree di mercato
- Sassari
- Olbia
- Macomer
- Oristano Est
- Uras
- Villacidro
- Decimomannu
- Quartu Sant'Elena
- distributori GNL (localizzazione indicativa)
- scenario effettivo + nuovo
- Sassari
- ZONIZZAZIONE E LIMITI AMMINISTRATIVI
- Zonizzazione
- Zone
- Limiti amministrativi
- Confini comunali
- Confini provinciali

0 10 20 30 km

La configurazione potenziale dei punti di rete delle stazioni di servizio

N	Localizzazione ipotizzata	Mvkm pesanti/anno
1	Sassari	43,4
2	Olbia	33,8
3	Nuoro	30,0
4	Macomer	28,8
5-6	Oristano (S.Giusta)	28,3
7	Uras	25,9
8	Villacidro	25,3
9	Decimomannu	35,9
10	Quartu Sant'Elena	42,6
TOT		294,0

PUNTI DI DISTRIBUZIONE STIMA E STIMA DEL NUMERO DEI VIAGGI ANNO DI AUTOCISTERNE CRIOGENICHE

L'insieme delle localizzazioni qui ipotizzate definisce un insieme di **76 punti rete da rifornire tramite GNL** e che, stando allo scenario base, si stima esprimano al 2030 una domanda complessiva di **63 mila tonnellate di GNL**. Di questi, quasi la metà è attribuibile alle **stazioni di servizio per autotrazione (9)**, un terzo è attribuibile alle **industrie off-grid (20)**, mentre la parte restante viene ripartita fra i **43 punti delle reti di distribuzione isolate** e **4** ulteriori punti relativi alle **banchine dei porti utilizzate per bunkeraggio truck-to-ship**

Assumendo come valore di riferimento una portata di **20 t/autocisterna**, questo porta ad un totale di circa **3'150 viaggi/anno, escludendo i ritorni a vuoto**

PUNTI RETE PER PROVINCIA AL 2030						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	4	4	0	4	8	20
reti distribuzione isolate	15	2	22	3	1	43
distributori GNL/GNC	3	3	1	1	1	9
Porti con banchine utilizzate per Bunkeraggio Truck-to-Ship	2	1	0	0	1	4
Totale Sardegna	24	10	23	8	11	76

DOMANDA DI GNL al 2030 (t/anno)						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	2.186	3.319	-	8.282	6.185	19.973
reti distribuzione isolate	6.525	188	4.125	563	600	12.000
distributori GNL/GNC	7.962	4.987	4.215	2.323	7.512	27.000
Porti con banchine utilizzate per Bunkeraggio Truck-to-Ship	1.000	500	-	-	2.500	4.000
Totale Sardegna	17.673	8.994	8.340	11.168	16.797	62.973

Calcolo del coefficiente di rischio per definire la distribuzione interna ottimale del GNL

- Definiti i punti di rete interna è stata identificata una rete distributiva che permetteva di assicurare il contenimento dei rischi (modesti, ma non del tutto trascurabili) associati alla circolazione delle autocisterne, **entro limiti di accettabilità sociale**.
- È stato per questo sviluppato un modello di distribuzione che **identificasse gli itinerari di minimo rischio** tra i punti di carico e di scarico del prodotto.
- Per definire questi itinerari è stato utilizzato il modello di simulazione del traffico a cui è stato associato ad ogni arco della rete stradale un **coefficiente di rischio**

Coefficiente di rischio = probabilità del sinistro x danno potenziale

Per far questo è stato utilizzato il modello di analisi del rischio DGT (Dangerous Goods Transportation) **che basa la stima del costo sociale associato ad uno specifico itinerario** sull'algoritmo seguente

$$R_{ij} = \sum_k R_k = \sum_k \left(p_k \times \sum_s \left(p_{k,s} \times \sum_e \left(p_{k,s,e} \times \sum_m \left(F_{k,m} \times E_{k,s,e,m} \times S_m \times (1 - C_{k,s,e,m}) \right) \right) \right) \right)$$

R_{ij}	Rischio cumulato sull'itinerario [€/anno]	
R_k	Rischio totale associato al transito sul k-simo arco del grafo [€/anno]	
p_k	Probabilità di accadimento di un incidente stradale sull'arco k [veicoli coinvolti/arco/anno]	PROBABILITA' CUMULATA DEGLI EVENTI AVVERSI
$p_{k,s}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco k coinvolga un veicolo adibito al trasporto della sostanza s	
$p_{k,s,e}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco k, che coinvolge un veicolo adibito al trasporto della sostanza s, determini un evento avverso di tipo e	DANNO ASSOCIATO A CIASCUN EVENTO AVVERSO
$F_{k,m}$	Fattore di presenza del recettore m lungo l'arco k	
$E_{k,s,j,m}$	Fattore di esposizione del recettore m lungo l'arco k all'evento avverso e che coinvolge la sostanza s	
S_m	Suscettibilità del recettore m	
$C_{k,s,e,m}$	Resilienza/capacità di recupero del recettore m	

R_{ij}	Rischio cumulato sull'itinerario [€/anno]	
R_k	Rischio totale associato al transito sul k-simo arco del grafo [€/anno]	
p_k	Probabilità di accadimento di un incidente stradale sull'arco k [veicoli coinvolti/arco/anno]	PROBABILITA' CUMULATA DEGLI EVENTI AVVERSI
$p_{k,s}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco k coinvolga un veicolo adibito al trasporto della sostanza s	
$p_{k,s,e}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco k, che coinvolge un veicolo adibito al trasporto della sostanza s, determini un evento avverso di tipo e	
$F_{k,m}$	Fattore di presenza del recettore m lungo l'arco k	DANNO ASSOCIATO A CIASCUN EVENTO AVVERSO
$E_{k,s,j,m}$	Fattore di esposizione del recettore m lungo l'arco k all'evento avverso e che coinvolge la sostanza s	
S_m	Suscettibilità del recettore m	
$C_{k,s,e,m}$	Resilienza/capacità di recupero del recettore m	

Incidentalità e probabilità del sinistro sulla rete stradale

Incidentalità sulla rete stradale

Probabilità del sinistro sulla rete

La probabilità complessiva di un sinistro, che coinvolga un'autocisterna criogenica è stata calcolata sulla base delle statistiche degli incidenti stradali dell'ultimo quinquennio

A partire da:

- numero totale di incidenti N_T
- numero totale di incidenti con coinvolgimento di mezzi pesanti N_p

e si sono determinati gli indici:

- di incidentalità totale: $i_T = N_T / 100$ Mvkm totali
- di incidentalità pesante: $i_p = N_p / 100$ Mvkm pesanti

Calcolo dell'indicatore del danno potenziale

Popolazione esposta



INTERFERENZE COL SISTEMA ANTROPICO



Sistema ambientale esposto



INTERFERENZE COL SISTEMA AMBIENTALE



il calcolo **dell'indicatore del danno potenziale** tiene conto di tre distinti fattori:

- la presenza di traffico leggero, ovvero la possibilità che un evento incidentale interessi **persone presenti su altri veicoli in transito (modello di traffico)**
- la **popolazione residente all'intorno dell'asse stradale**, potenzialmente esposta ai rischi del sinistro
- ulteriori elementi relativi alla **vulnerabilità ambientale** del contesto.

$$D_p = F_P * V_F + M_P * V_M + AP_P * V_{AP}$$

Calcolo dell'indicatore del danno potenziale

Mappa del Danno potenziale



$$D_p = F_p * V_F + M_p * V_M + AP_p * V_{AP}$$

D_p = danno potenziale espresso in € per ogni singolo arco della rete

F_p = numero di feriti

V_F = valore ferito (Ferita grave: **0,5 milioni di €**, Ferita leggera: **0,04 milioni di €**)

M_p = numero decessi

V_M = valore decesso (**3,2 milioni di €**)

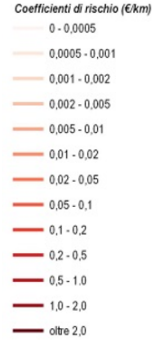
AP_p = estensione di aree di pregio ambientale (in ettari)

V_{AP} = valore medio di riferimento per i siti Rete Natura 2000 di circa **3mila €/ha**

Calcolo del coefficiente di rischio complessivo sulla rete

Mapa del rischio

COEFFICIENTE DI RISCHIO



Coefficiente di rischio = probabilità del sinistro x danno potenziale

Questo coefficiente è espresso in unità monetarie per 100 milioni di veicoli-km sulla rete (€/100 Mvkm), **costituisce l'espressione sintetica del "costo sociale" associato alla circolazione delle autocisterne criogeniche sulla rete stradale sarda.**

Tale valore è più alto nelle aree urbane e ridotto nella restante rete stradale

Calcolo degli itinerari di minimo costo per la distribuzione interna



Attraverso l'indicatore di rischio su ogni singolo arco è possibile determinare gli **itinerari di minimo costo** per collegare un punto di origine (deposito costiero) con i punti di destinazione interni.

Oltre al calcolo degli itinerari di minimo costo potrà essere calcolato **costo sociale cumulato anno** per singolo percorso attraverso la seguente formulazione:

$$CS_p = N \sum_k CS_{ij}$$

- CS_p è il costo sociale associato all'intero percorso, espresso in €/anno;
- N è il numero di autocisterne/anno, calcolato sulla base della domanda annua di GNL di ogni singolo punto rete, ed ipotizzando una capacità di 20t per ogni veicolo;
- CS_{ij} è il costo sociale associato ad ogni singolo arco che compone il percorso;

Calcolo degli itinerari di minimo costo per la distribuzione interna

Attraverso il **costo sociale cumulato anno** è possibile:

- **confrontare diverse località di origine (porti)** per individuare quella ottimale a servire una specifica destinazione (punto rete);
- **confrontare diversi assetti di rete**. Infatti, sommando tutti i costi sociali di tutti i percorsi considerati all'interno di un particolare assetto (Es: utilizzo del porto A o del porto B), si ottiene una stima del suo costo sociale complessivo

DISTRIBUZIONE INTERNA NEI PERCORSI DI MINOR COSTO SOCIALE (ORIGINE DA SINGOLO PORTO)



Origine Oristano



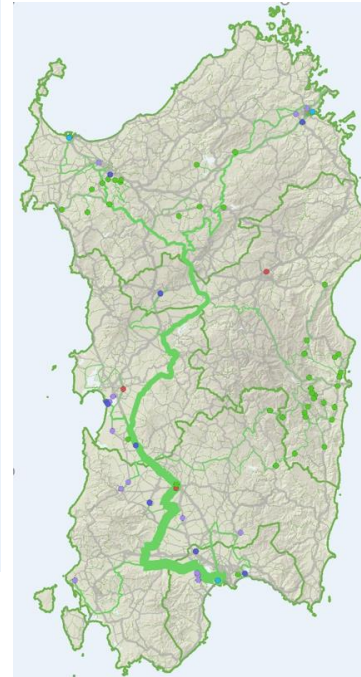
Origine Porto Torres



Origine Olbia



Origine Portovesme



Origine Cagliari

Porto origine	Costo sociale €/anno
Porto Torres	7.485
Olbia	10.430
Oristano S.ta Giusta	4.488
Portovesme	6.338
Cagliari	8.133

DISTRIBUZIONE INTERNA NEI PERCORSI DI MINOR COSTO SOCIALE (ORIGINE DA TUTTI I PORTI)

RETE DI DISTRIBUZIONE - COSTI MINIMI

PUNTI RETE

- Distributori GNL
- Industrie off-grid
- Reti distribuzione isolate
- Banchine utilizzate per Bunkeraggio Truck-to-Ship

PORTO DI ORIGINE

- Porto Torres
- Olbia
- Cristano
- Porto Vesme
- Cagliari

ZONIZZAZIONE E LIMITI AMMINISTRATIVI

Zonizzazione

- Zone

Limiti amministrativi

- Confini comunali
- Confini provinciali



In questa ipotesi, è stata valutata la disponibilità contemporanea di tutte le località di origine viste nel paragrafo precedente. Pertanto, per ogni destinazione viene selezionata soltanto **l'origine raggiungibile tramite l'itinerario di minor costo sociale.**

Il **Porto di Oristano è quello di riferimento** con la maggior parte delle destinazioni. **Gli altri porti soddisfano in genere le destinazioni zionali più prossime**

Nell'ipotesi di tutti i porti di **origine il costo sociale complessivo associabile è di 3'784 € /anno**, inferiore quindi del 20% rispetto allo scenario esclusivamente basato sul solo porto di Oristano

Considerazioni conclusive

1. Il modello costituisce un valido strumento per valutare la variazione dei costi sociali attribuibili alla messa in funzione di differenti depositi costieri nel downstream del GNL
2. Il modello è un valido strumento per valutare nel transitorio, in attesa della realizzazione delle reti di trasporto, i costi sociali per la distribuzione del GNL su tutto il territorio regionale, e per valutare la pianificazione ottimale dei itinerari di distribuzione verso i punti di consumo finali interni
3. Il modello non ha tenuto conto del tasso di sostituzione dei vettori di trasporto dei combustibili tradizionali per effetto dello switching verso il GNL. Il modello potrà essere facilmente implementato per la valutazione della riduzione delle emissioni ambientali riferite al trasporto su strada del GNL
4. Esiste una stretta connessione logica delle reti di approvvigionamento via mare, la localizzazione dei depositi costieri e la rete stradale di distribuzione interna;
5. Il processo in corso di sviluppo delle iniziative sui depositi costieri (nella configurazione complessiva) appare privo di una strategia di pianificazione:
 - I numeri del consumo (domanda) appaiono in contrasto con i numeri dell'offerta in corso di autorizzazione/riciesta;
 - La localizzazione dei depositi costieri non appare coerente con le aree di consumo nelle scenario evolutivo della domanda;
6. Gli studi ed i modelli messi a punto nei progetti del Cluster GNL (PROMO-GNL, SIGNAL, TDI Rete GNL) si dimostrano oggi strumenti efficaci di pianificazione e controllo delle scelte e sono a disposizione degli organismi di governo del settore e dei pianificatori

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Università di Cagliari, Dipartimento Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura

Federico Sollai
fsollai@unica.it