

T3.4.1 Report delle analisi di funzionalità della rete

PARTNER:

- **REGIONE SARDEGNA-Industria**
- **CHAMBRE de COMMERCE et d'INDUSTRIE du VAR**



Report attività T3.4

Requisiti della rete distributiva

Il seguente studio è stato sviluppato nell'ambito del Progetto SIGNAL - Strategie transfrontaliere per la valorizzazione del Gas Naturale Liquido, co-finanziato dal Programma INTERREG Marittimo Italia-Francia 2014-2020.

Sommario

Indice delle figure	4
Indice delle tabelle	5
Abstract	6
1. Aspetti metodologici: modello di simulazione del traffico	7
1.1 Zonizzazione di riferimento	8
1.2 Grafo stradale	12
1.3 Caratteristiche del grafo stradale	14
1.4 Matrice O/D	17
1.5 Calcolo del costo generalizzato	21
1.6 Calibrazione del modello	21
1.7 Simulazione dello stato di fatto	25
2. Aspetti metodologici: calcolo del coefficiente di rischio	32
3. Analisi dell'incidentalità sulla rete stradale sarda	33
3.1 Generalità	33
3.2 Acquisizione dei dati di incidentalità	33
3.3 Codifica delle strade sul grafo	34
3.4 Calcolo del numero di veicoli coinvolti in incidenti all'anno	37
3.5 Calcolo del coefficiente di rischio per la Regione Sardegna	40
4. Calcolo dell'indicatore di danno potenziale	42
4.1 Generalità	42
4.2 Persone presenti su altri veicoli in transito	42
4.3 Popolazione esposta all'intorno dell'asse stradale	42
4.4 Elementi relativi alla vulnerabilità ambientale	45
4.5 Riepilogo dei risultati	47
5. Identificazione dei percorsi a minor rischio	48
5.1 Minimizzazione del rischio ed itinerari stradali	48
5.2 Calcolo dei coefficienti di rischio	48
5.3 Assegnazione alla rete	48
Bibliografia e sitografia	50

Indice delle figure

Figura 1. Schema logico delle simulazioni di traffico	8
Figura 2. Diretrici esterne	10
Figura 3. Zonizzazione interna	11
Figura 4. Modello di traffico nazionale i-TraM: grafo stradale Regione Sardegna	13
Figura 5. Procedura di calcolo dei coefficienti di deflusso in base al livello di urbanizzazione dell'arco stradale	16
Figura 6. Esempio di curva di deflusso	17
Figura 7. Spostamenti pesanti attratti per zona	20
Figura 8. Localizzazione delle postazioni di rilievo	23
Figura 9. Calibrazione del modello regionale – totale flussi	24
Figura 10. Calibrazione del modello regionale –flussi pesanti	25
Figura 11. Flussi veicolari complessivi – stato di fatto	27
Figura 12. Flussi veicolari pesanti – stato di fatto	28
Figura 13. Riepilogo delle percorrenze complessive	29
Figura 14. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli leggeri	30
Figura 15. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli pesanti	30
Figura 16. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli pesanti	35
Figura 17. Identificazione del coefficiente di rischio	41
Figura 18. Identificazione della popolazione esposta	44
Figura 19. Identificazione della vulnerabilità ambientale	46

Indice delle tabelle

Tabella 1. Parametri di deflusso – valori giornalieri	15
Tabella 2. Coefficienti correttivi per il calcolo della capacità giornaliera	17
Tabella 3. Matrice OD per componente veicolare	19
Tabella 4. Volumi e percorrenze	30
Tabella 5. Riepilogo volumi e percorrenze dello stato di fatto	31
Tabella 6. Percorrenze per strada statale	36
Tabella 7. Concentrazione dei flussi sulla rete delle strade statali	37
Tabella 8. Tassi di incidentalità, lesività e mortalità sulla rete stradale – tutti i sinistri	38
Tabella 9. Tassi di incidentalità, lesività e mortalità sulla rete stradale – sinistri con veicoli pesanti	39
Tabella 10. Esposizione al rischio incidentale per strada	47

Abstract

Il presente documento individua le modalità con cui la rete stradale sarda è stata parametrizzata al fine della definizione dei percorsi ottimi, cioè di minor rischio, per i mezzi rivolti al rifornimento GNL.

Alla base di molti dei parametri qui riportati è stato l'affinamento su tutto il territorio regionale del modello di simulazione multimodale e multiscalare nazionale i-TraM (*Italian Transport Model*)¹. Nell'ambito del presente studio, il modello è stato affinato e validato con specifico riferimento alla Regione Sardegna, in modo tale da riprodurre l'assetto attuale dei flussi di traffico circolanti sulla rete, con particolare riferimento a quelli relativi ai veicoli pesanti del modello, in una giornata feriale media del 2019. Dati gli obiettivi del progetto, l'operazione si è limitata al solo modulo di trasporto stradale, senza introdurre ipotesi relative agli altri modi di trasporto (navigazione marittima ed aerea, ferrovia) presenti nel modello nazionale.

Il modello utilizzato per simulare le normali condizioni di traffico costituisce la base anche per analizzare gli itinerari delle autocisterne GNL, in relazione ai corrispondenti rischi incidentali.

In questa relazione, pertanto, verranno descritte:

- le principali caratteristiche e risultati del modello di traffico, utilizzato anche a supporto della definizione dei percorsi ottimi delle autocisterne GNL (*capitolo 2*);
- la metodologia adottata per la determinazione dei coefficienti di rischio incidentale (*capitolo 3*);
- la costruzione degli indicatori relativi all'incidentalità sulla rete stradale (*capitolo 4*);
- la costruzione degli indicatori relativi all'entità dei danni potenziali, attesa in caso di sinistro (*capitolo 5*);
- alcune prime indicazioni relative all'identificazione degli itinerari di minor rischio, che verrà successivamente affinata nel report T3.5 (*capitolo 6*).

¹ Per maggiori informazioni sul modello i-TraM, vedi: <https://metaplanning.it/atlante/>

1. Aspetti metodologici: modello di simulazione del traffico

Un modello di traffico è uno strumento matematico che consente di riprodurre, in modo approssimato, il funzionamento di un sistema di trasporto.

Esso si basa fundamentalmente su due tipi di *input*:

- la descrizione della **domanda di mobilità**, rappresentata come matrice origine/destinazione (O/D) dei movimenti di persone, merci o veicoli all'interno dell'area;
- la **descrizione dell'offerta di trasporto**, ottenuta riconducendo le caratteristiche dei singoli assi di traffico ad una struttura matematica denominata grafo, formata da nodi e da archi che li congiungono, dotati di opportuni attributi (ad esempio, la lunghezza, il numero di corsie, ecc...).

Il modello combina questi dati assegnando la matrice O/D al grafo, cioè identificando, per ogni spostamento da ciascuna zona di origine a ciascuna zona di destinazione, effettuato per un determinato motivo, il percorso migliore in relazione ai costi percepiti dagli utenti in termini di tempi di viaggio, tariffe e distanze percorse.

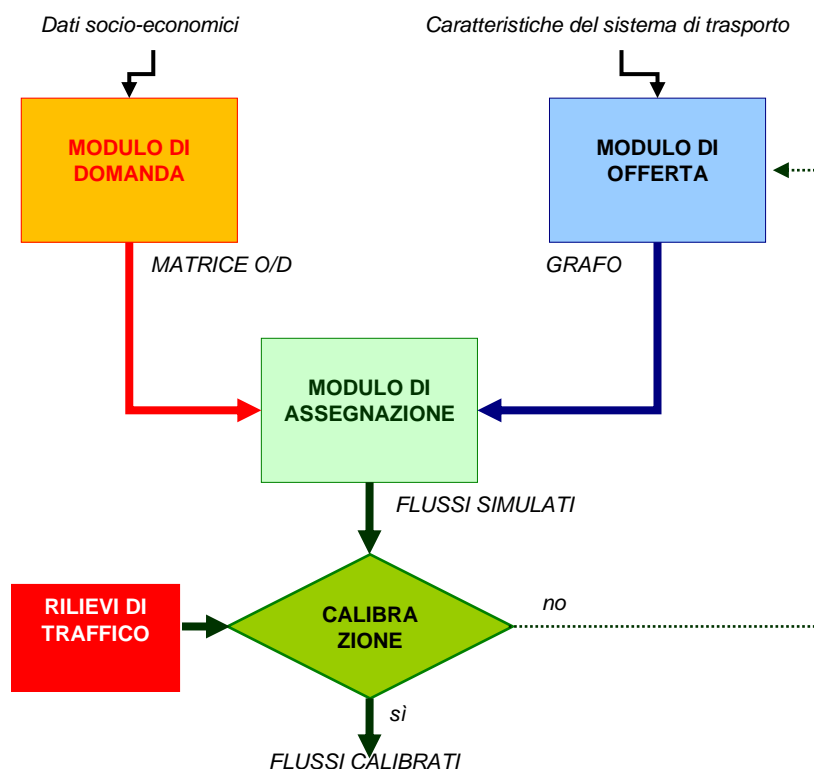
Sommando tutti gli spostamenti assegnati a ciascun percorso, è possibile stimare i flussi di traffico su tutti gli archi del grafo.

Poiché alcuni attributi degli archi - e in particolare il tempo di percorrenza - dipendono a loro volta dal numero di spostamenti assegnati agli archi stessi, questa procedura deve essere ripetuta più volte, in modo da ottenere un equilibrio tra i costi di trasporto calcolati e la scelta dei percorsi da parte degli utenti del sistema.

Per poter risultare attendibile, ogni modello di traffico deve dimostrarsi capace di riprodurre, con ragionevole approssimazione, una situazione di traffico reale. Pertanto, i flussi simulati dal modello debbono essere confrontati con quelli rilevati nella realtà, tipicamente attraverso conteggi di traffico, manuali od automatici, effettuati in modo indipendente dalla costruzione del modello. Il confronto tra flussi simulati e flussi rilevati prende il nome di calibrazione del modello, e può dar luogo ad aggiustamenti mirati degli *input*.

Una volta calibrato, il modello è in grado di simulare scenari previsionali, indicativi delle condizioni di circolazione attese a seguito di variazioni della domanda di mobilità (ad es. crescita demografica, nuovi insediamenti urbani ...), o dell'offerta di trasporto (ad es. nuovi collegamenti stradali, istituzione di aree a traffico limitato...).

Fonte: Elaborazione META



Fonte: elaborazione META

Figura 1. Schema logico delle simulazioni di traffico

Rispetto alle indagini svolte su un insieme forzatamente limitato di postazioni, il modello consente di stimare i volumi di traffico e le corrispondenti condizioni di deflusso su tutti gli archi del grafo. Ciò permette di valutare una serie di indicatori importanti, quali ad esempio il totale delle distanze percorse dai veicoli all'interno del territorio comunale, ed i corrispondenti tempi di viaggio.

Applicando a tali indicatori i parametri di consumo unitari dei veicoli circolanti nell'area, è infine possibile stimare la quantità di carburante consumata dal traffico veicolare all'interno dell'area di studio.

Questi indicatori rappresentano il punto di riferimento fondamentale per la valutazione dei consumi complessivi giornalieri, mensili ed annuali.

Nel seguito del capitolo vengono illustrate, nell'ordine, a zonizzazione di riferimento (§ *Zonizzazione di riferimento*), gli elementi di base utilizzati per la ricostruzione della domanda ed offerta di trasporto (§ *Grafo stradale*; § *Matrici O/D*), gli esiti della calibrazione del modello (§ *Calibrazione del modello*) ed i risultati ottenuti, in termini di ricostruzione dei carichi veicolari sulla rete stradale in esame (§ *Simulazione dello stato di fatto*).

1.1 Zonizzazione di riferimento

Nella sua configurazione nazionale, il modello i-TraM è basato su 1.784 zone, di cui 87 riferite al territorio della Regione Sardegna.

Per una maggiore accuratezza nelle elaborazioni, è stata effettuata un'aggregazione delle zone esterne alla Regione, ed un affinamento di quelle interne.

In particolare, sulla base dei collegamenti navali disponibili, sono state individuate 5 direttrici esterne (**Figura 3**):

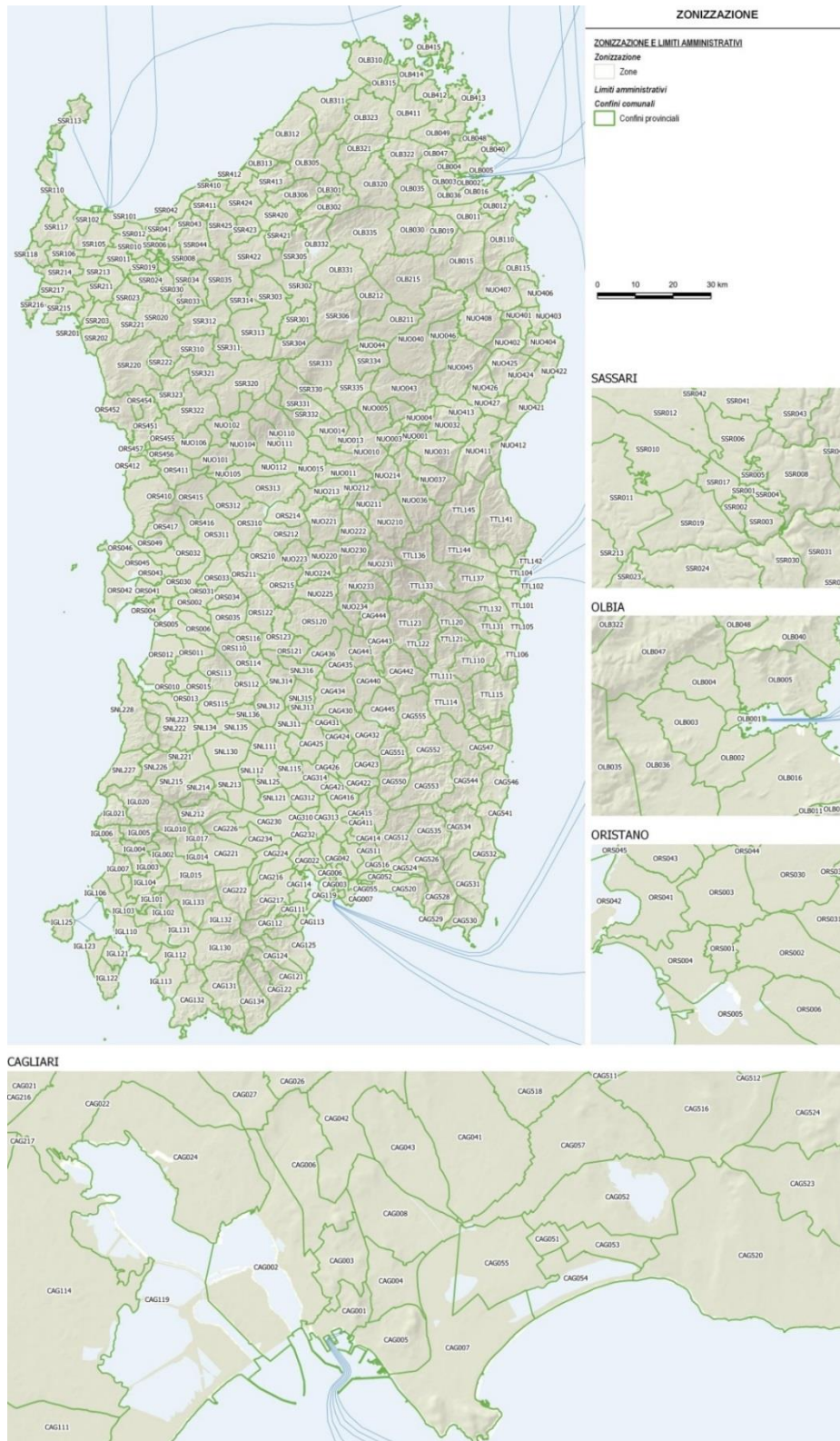
- Direttrice Nord-Ovest
- Direttrice Nord-Est+Toscana
- Direttrice Centro
- Direttrice Sud
- Direttrice Calabria e Sicilia.

Di converso, le zone interne alla Regione sono state ulteriormente affinate, passando da 87 a 417 (Figura 4), di cui:

- **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**



Fonte: elaborazione META
 Figura 2. Direttrici esterne



Fonte: elaborazione META
 Figura 3. Zonizzazione interna

1.2 Grafo stradale

Il modello di traffico riproduce le caratteristiche della rete stradale attraverso un oggetto matematico denominato **grafo**, e costituito da:

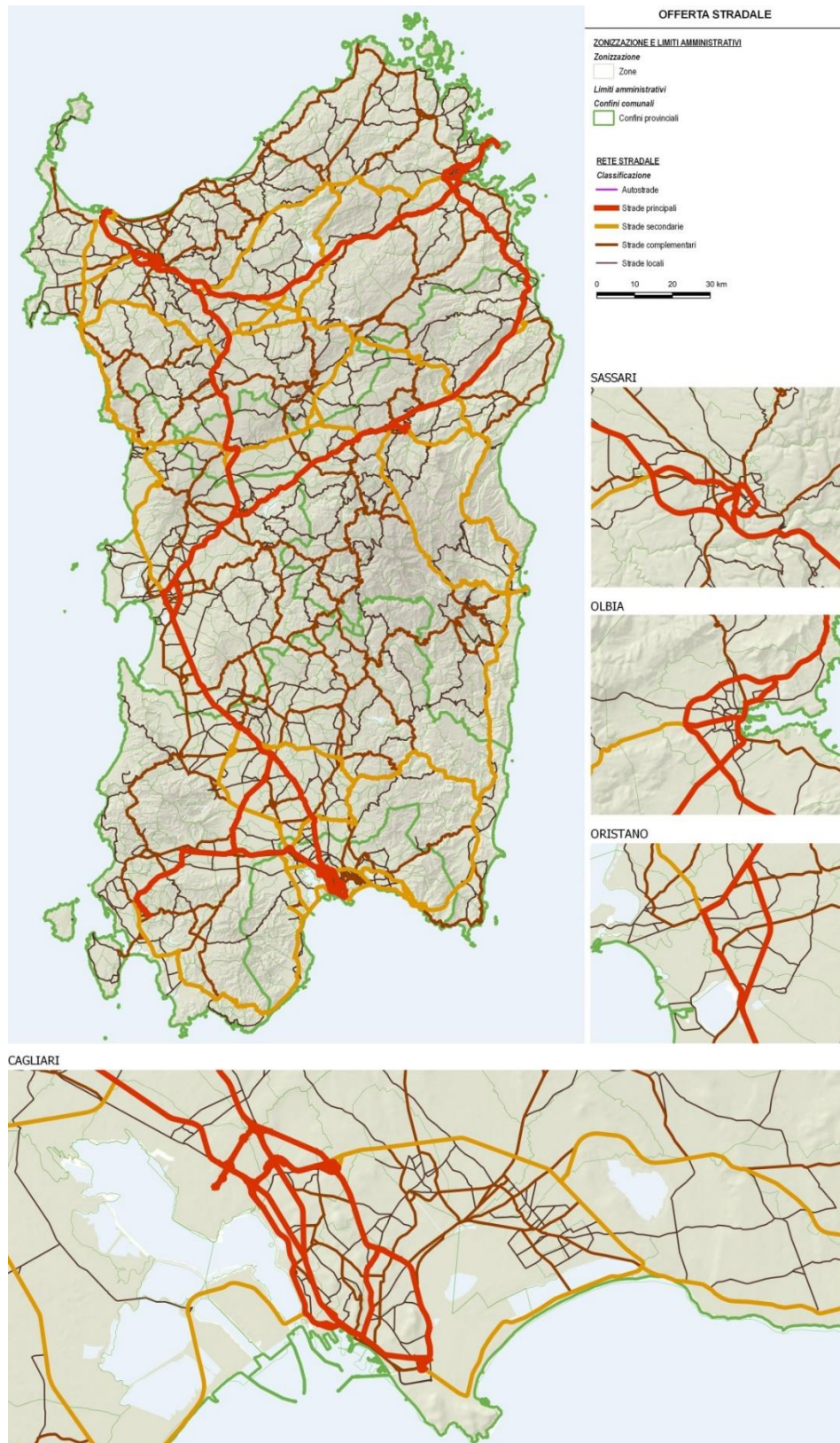
- un insieme di **nodi**, corrispondenti agli incroci
- un insieme di **archi**, corrispondenti ai collegamenti stradali fra i medesimi nodi.

Ciascuno di questi oggetti viene descritto mediante opportuni attributi, che ne identificano le caratteristiche geometriche e funzionali capaci di influenzare il deflusso veicolare. Ad esempio, gli archi sono descritti in relazione al senso di marcia, al numero di corsie, alla pendenza, ecc...

Combinando fra loro gli attributi, è possibile definire le grandezze fondamentali, che regolano il deflusso veicolare su ciascuna porzione del grafo, quali in particolare la **velocità di base** (cioè la velocità media che può essere mantenuta sull'arco da un veicolo in assenza di traffico) e la **capacità** (cioè il massimo numero di veicoli che può transitare per l'arco in un periodo di tempo dato). Ciascun arco viene poi caratterizzato da una **funzione di deflusso** $t = t(F)$, che indica il tempo di percorrenza, t , in funzione del flusso di traffico, F .

Si noti che **la classificazione della rete** è effettuata in relazione alle caratteristiche geometrico-funzionali delle strade e dei connettori lungo l'itinerario, e non è da intendersi una classificazione amministrativa della rete.

Nello specifico, il grafo utilizzato si compone di risultante si compone di 7.166 archi monodirezionali e 2.700 nodi, per un'estesa complessiva di rete pari a circa 7.700 km, di cui 600 riguardanti la viabilità principale (ad esempio la SS131 Carlo Felice), 1.100 la viabilità secondaria, 2.100 quella complementare e infine 3.900 quella locale (**Figura 5**).



Fonte: elaborazione META

Figura 4. Modello di traffico nazionale i-TraM: grafo stradale Regione Sardegna

1.3 Caratteristiche del grafo stradale

Le caratteristiche geometriche e funzionali dei singoli archi stradali sono descritte da una serie di attributi, derivati in parte dalle fonti cartografiche digitali utilizzate, ed in parte da verifiche dirette, condotte a mezzo di sopralluoghi e/o di analisi di immagini satellitari o fotografiche disponibili sul web.

Tali attributi includono in particolare:

- la tipologia dell'arco, selezionata fra 26 differenti categorie, corrispondenti ad altrettante combinazioni tra configurazione geometrica e livello di disturbo laterale/trasversale associato alla presenza di attraversamenti, aree di sosta, accessi laterali, ecc.
- la sua lunghezza, derivata dalla geometria dell'arco
- la quota-parte di lunghezza che ricade all'interno di aree urbane
- il numero di corsie
- l'eventuale livello di tariffazione (tratte a pedaggio).

L'intero processo di vestizione del grafo stradale, pur condotto in parte utilizzando fonti preesistenti, è stato soggetto a verifica manuale e a test di congruenza in rapporto alle funzionalità rilevate sulla rete.

Gli attributi d'arco concorrono a definire:

- la **capacità di deflusso C** , ovvero il numero massimo di veicoli che può attraversare l'arco nell'unità di tempo (giorno od ora)
- la **velocità di base V_b** , ovvero la velocità alla quale esso può essere percorso in assenza di traffico (rapporto flusso/capacità=0)
- la **velocità a pieno carico V_c** , ovvero la velocità alla quale esso può essere percorso in condizioni sature (rapporto flusso/capacità=1)
- la velocità in condizioni di carico intermedie V_i (rapporto flusso/capacità = 0.,75).

Sulla base di tali valori, vengono determinati i **parametri di deflusso α e β** , da inserire all'interno di normali **formule BPR**, che consentono di determinare il **tempo di percorrenza T** in funzione del **flusso veicolare F** secondo un'espressione del tipo:

$$T(F) = \frac{L}{V_b} \left[1 + \alpha \left(\frac{F}{C} \right)^\beta \right]$$

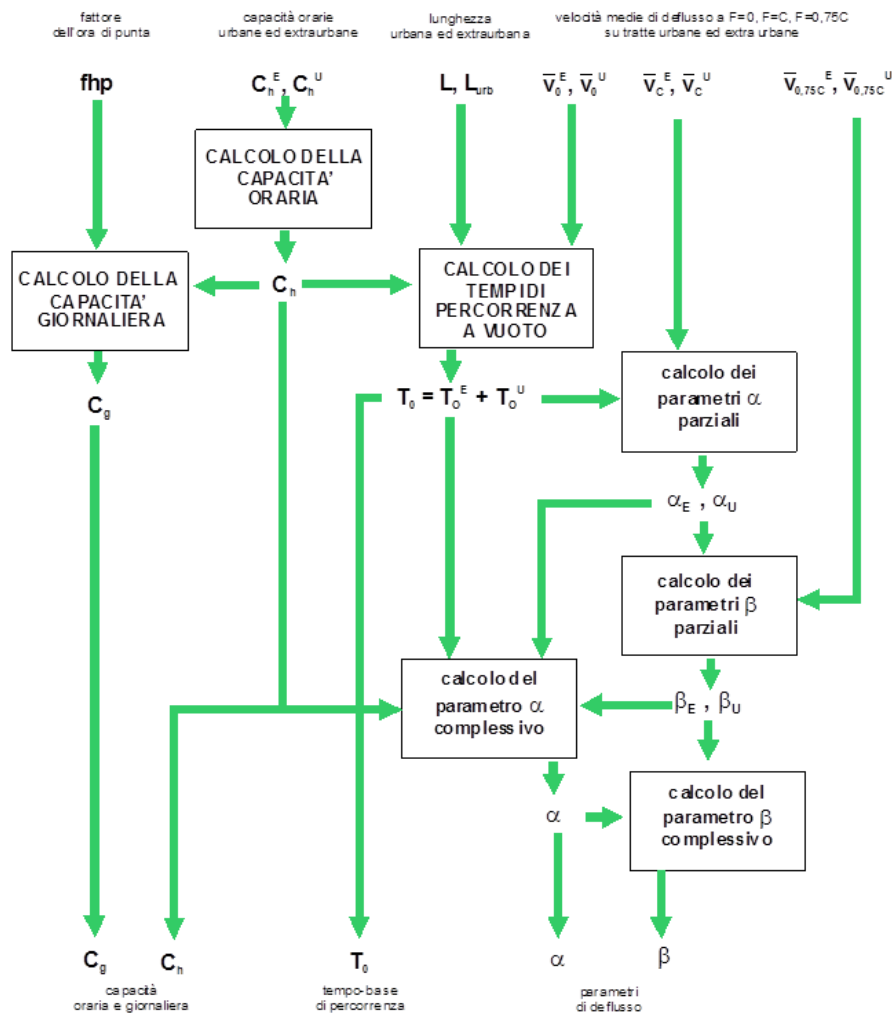
Una particolarità del grafo stradale utilizzato è che esso non opera una distinzione netta fra situazioni urbane ed extraurbane, ma consente di descrivere ciascun arco in base all'effettivo livello di urbanizzazione (% di lunghezza ricadente all'interno di aree urbane). I parametri di deflusso vengono ottenuti, per ciascun arco, imponendo che i tempi di percorrenza totali corrispondano alla somma di quelli determinati separatamente sulla tratta urbana e su quella extraurbana, per valori del rapporto flusso/capacità pari a 0, 0.75 e 1.

Al livello di definizione attuale, il modello non tiene conto esplicitamente dei perditempo al nodo finale, che entrano comunque a far parte dei tempi di percorrenza medi per ciascuna tipologia di arco.

Categoria	tipo arco	Capacità		Velocità di base		Velocità intermedia		Velocità a pieno carico	
		veic.eq./h/corsia		km/h		km/h		km/h	
		extraurbana	urbana	extraurbana	urbana	extraurbana	urbana	extraurbana	urbana
AUTOSTRADE	20 autostrada (generica)	2.100	2.000	120,0	110,0	75,0	110,0	101,0	70,0
RACCORDI E	21 autostrada a semplice carreggiata	1.950	1.850	110,0	99,4	71,9	95,0	83,8	58,4
TRAFORI	22 autostrada a doppia carreggiata e due corsie per senso di marcia	2.050	1.950	115,0	101,6	72,7	110,0	92,7	61,3
AUTOSTRADALI	23 autostrada a doppia carreggiata e tre o più corsie per senso di marcia	2.150	2.050	120,0	107,1	74,9	110,0	95,8	66,8
	25 zona di scambio a standard autostradale	1.850	1.550	120,0	107,1	74,9	90,0	79,2	54,7
	26 interconnessione autostradale	1.450	1.400	50,0	45,7	34,9	40,0	35,8	27,1
	27 traforo autostradale	1.450	1.450	110,0	99,4	71,9	95,0	86,1	63,3
	28 ramo di svincolo autostradale (senza barriera esaz.pedaggio)	1.350	1.300	50,0	45,7	34,9	40,0	35,7	27,1
	29 ramo di svincolo autostradale (con barriera esaz.pedaggio)	1.800	1.800	50,0	45,7	34,9	40,0	36,3	28,2
STRADE ORDINARIE	30 strada a disturbo locale ridotto (generica)	1.750	1.600	105,0	93,3	68,6	85,0	74,0	51,5
A DISTURBO LOCALE	31 superstrada a semplice carreggiata con intersezioni a liv.sfalsati	1.850	1.750	100,0	91,2	67,8	85,0	75,4	54,3
RIDOTTO	32 superstrada a doppia carreggiata con intersezioni a liv.sfalsati	1.950	1.850	110,0	98,8	70,8	90,0	78,7	55,5
(SUPERSTRADE)	34 ramo di svincolo od interconnessione	1.250	1.200	40,0	36,3	28,2	30,0	26,8	19,9
	35 superstrada/viale urbano a semplice carreggiata con intersezioni a raso	1.450	1.400	90,0	80,4	62,0	70,0	63,9	47,5
	36 superstrada/viale urbano a doppia carreggiata con intersezioni a raso	1.550	1.500	95,0	85,7	65,5	80,0	70,6	50,0
STRADE ORDINARIE	40 strada a disturbo locale medio (generica)	1.350	1.300	80,0	67,8	52,0	55,0	47,3	36,1
A DISTURBO LOCALE	41 strada a semplice carreggiata ed una corsia per senso di marcia (L<3,25 m) con banchine	1.400	1.350	80,0	67,3	52,9	60,0	51,8	39,0
MEDIO	42 strada a semplice carreggiata e due o più corsie per senso di marcia (L<3,25 m) con banchine	1.450	1.400	95,0	82,1	60,2	80,0	64,3	42,9
	43 strada a semplice carreggiata ed una corsia per senso di marcia (L<3,25 m) con parterre	1.550	1.500	90,0	76,4	57,3	70,0	58,2	41,2
	45 strada a semplice carreggiata ed una corsia per senso di marcia (L<3,25 m), senza banchine	1.300	1.250	75,0	63,6	50,2	50,0	42,9	31,9
STRADE ORDINARIE	50 strada a disturbo locale elevato (generica)	1.050	1.000	55,0	48,1	36,7	40,0	33,6	25,7
A DISTURBO LOCALE	51 strada a semplice carreggiata ed una corsia per senso di marcia (L<3,25 m), senza banchine	1.150	1.100	65,0	54,5	39,7	45,0	38,9	28,8
ELEVATO	52	1.400	1.200	75,0	59,8	44,9	55,0	42,0	27,0
	54	1.150	1.100	50,0	41,4	30,9	45,0	33,3	23,8
	55 strada a semplice carreggiata ed una corsia per senso di marcia (L<2,75 m) senza banchine	950	900	50,0	42,9	32,2	40,0	33,5	25,6
	56	800	750	55,0	46,7	34,9	40,0	33,3	25,3
	57 strada residenziale a traffico moderato (Zona 30)	800	750	40,0	30,3	22,9	35,0	25,7	18,2
	58 strada a senso unico alternato (a vista)	500	500	50,0	41,1	31,5	30,0	26,3	20,1
	59 strada a senso unico alternato (con regolazione semaforica)	900	700	40,0	31,9	24,7	40,0	27,0	18,9

Fonte: elaborazione META

Tabella 1. Parametri di deflusso – valori giornalieri



OUTPUT

Fonte: elaborazione META

Figura 5. Procedura di calcolo dei coefficienti di deflusso in base al livello di urbanizzazione dell'arco stradale

I valori di **capacità oraria** sono definiti facendo riferimento all'edizione 2010 dell'*Highway Capacity Manual* (HCM) statunitense, con alcuni adattamenti sviluppati tenendo conto:

- del manuale di capacità stradale tedesco, (HBS = *Handbuch für die Bemessung vor Straßenverkehrsanlagen*, 2001, 2015³) [Brilon 2000, Brilon e Bessler 2004, Brilon e Lohoff 2011]
- delle norme svizzere SN640 018a (2006) SN640 020a (2010).

Nel caso in cui le simulazioni vengano effettuate in termini di Traffico Giornaliero Medio (TGM), tali valori vanno tradotti in capacità pratica giornaliera. L'operazione è effettuata ipotizzando che la distribuzione giornaliera dei flussi veicolari su ciascun arco sia funzione, in primo luogo, della sua classe. Suddividendo le 24 ore della giornata in 4 ore caratterizzate da flusso massimo, 8

caratterizzate da flusso intermedio, e 12 caratterizzate da flusso minimo, è possibile calcolare coefficienti moltiplicativi, cui corrispondono altrettanti fattori dell'ora di punta

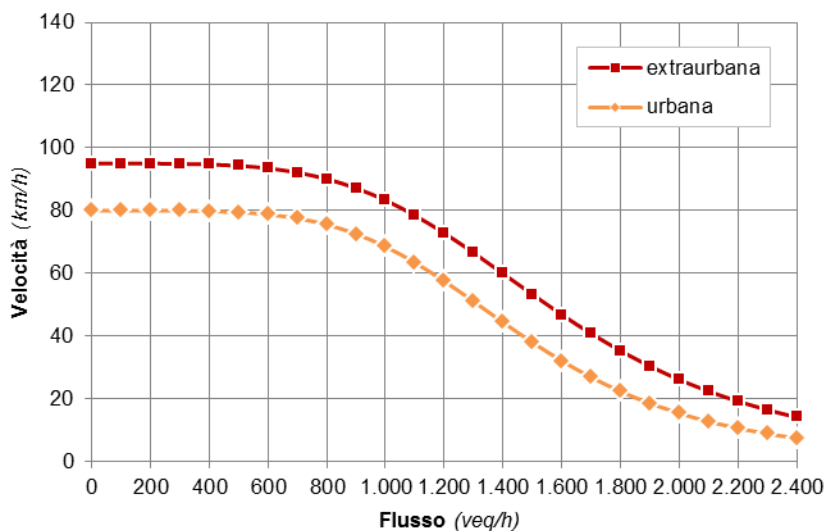
COEFFICIENTI CORRETTIVI PER IL CALCOLO DELLA CAPACITA' GIORNALIERA						
Rapporto F/C in funzione del rango						
Fascia oraria	ore/giorno	2	3	4	5	6
punta	4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
intermedio	8	0,70	0,65	0,60	0,58	0,55
morbida	12	0,28	0,23	0,18	0,16	0,13
TOTALE	24	13,00	12,00	11,00	10,50	10,00
Fattore dell'ora di punta		7,7%	8,3%	9,1%	9,5%	10,0%

Fonte: elaborazione META

Tabella 2. Coefficienti correttivi per il calcolo della capacità giornaliera

L'utilizzo delle capacità pratiche giornaliere comporta anche il ricalcolo delle velocità di riferimento per i tre valori del rapporto flusso/capacità (0, 0.75 e 1) e, dunque, la rideterminazione delle curve di deflusso di ciascun arco, riferite alle condizioni medie di transito in funzione della classe funzionale del collegamento, della corrispondente tipologia stradale e del suo livello di urbanizzazione.

Una volta determinate le capacità pratiche e le velocità di base medie giornaliere, nonché i coefficienti α e β che consentono di riprodurre le velocità in condizioni di carico elevato ($F/C=0.75$) e di saturazione della capacità ($F/C=1.0$), le curve di deflusso consentono di descrivere le velocità medie di avanzamento, e dunque i tempi di percorrenza necessari a percorrere ciascun arco stradale, in funzione del flusso veicolare assegnatogli.



Fonte: elaborazione META

Figura 6. Esempio di curva di deflusso

1.4 Matrice O/D

Una volta descritta la configurazione della rete stradale, il modello deve riprodurre gli spostamenti effettuati su di essa dai singoli autoveicoli. Ciò si ottiene utilizzando una **matrice**

origine/destinazione (O/D), che descrive la **domanda di mobilità** esistente in una data area, identificando quanti veicoli debbono spostarsi al suo interno in un periodo di tempo dato.

La matrice descrive ciascuno spostamento identificando la zona di traffico in cui esso inizia (origine), e quella in cui esso finisce (destinazione).

Nel caso del modello della Sardegna, la matrice utilizzata nasce dall'affinamento di quella in uso presso il modello I-TraM, ricondotta ad una zonizzazione più fine all'interno del comparto di analisi sulla base di specifici coefficienti di generazione e attrazione²:

La matrice risultante si compone in particolare delle seguenti componenti di domanda:

- gli spostamenti sistematici, distinti fra **studio e lavoro** e derivati dalla matrice OD ISTAT del 2011
- gli spostamenti occasionali, distinti fra **affari, personali e svago** e precedentemente calcolati su scala nazionale secondo consolidati algoritmi di generazione, distribuzione e ripartizione modale
- gli spostamenti dei veicoli **pesanti** (>3.5 ton), desunti ripartendo la matrice europea ETIS/Transtools descrittiva degli scambi interprovinciali sulla base di opportuni descrittori territoriali rappresentativi delle principali categorie merceologiche.

Al fine di garantirne la confrontabilità reciproca, tutti i valori relativi ai flussi veicolari sono stati espressi in veicoli equivalenti³.

Nel complesso, la matrice O/D giornaliera assegnata dal modello di traffico include circa 1.6 milioni di movimenti veicolari/giorno, di cui quasi 13.000 effettuati con mezzi pesanti e i restanti con autovetture (**Tabella 3**).

Nel caso dei veicoli leggeri, la maggior parte degli spostamenti è interna alle province e si concentra di conseguenza sulla diagonale. La matrice dei pesanti risulta maggiormente distribuita: la diagonale ha un peso inferiore, e le relazioni più rilevanti risultano essere gli interni alla Città Metropolitana di Cagliari e gli spostamenti fra Cagliari e Sassari.

² I coefficienti di generazione sono stati calcolati in funzione delle densità abitative di ogni zona, mentre quelli di attrazione sulla base della distribuzione degli addetti. Tali distribuzioni sono state calcolate grazie all'uso dei dati censuari ISTAT 2011 per zona censuaria.

³ La traduzione in veicoli equivalenti consiste nell'attribuire a una categoria veicolare (es: veicoli pesanti) di un peso in veicoli leggeri, basandosi sull'ingombro determinato in carreggiata di un singolo veicolo di quella categoria. Sulla base anche della composizione dei flussi pesanti emersa dai rilievi di traffico, si è deciso nel caso specifico di considerare che, in media un veicolo pesante equivalga a 2 veicoli leggeri.

REGIONE SARDEGNA							
MATRICE SPOSTAMENTI STRADALI							
<i>(veicoli/giorno)</i>							
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

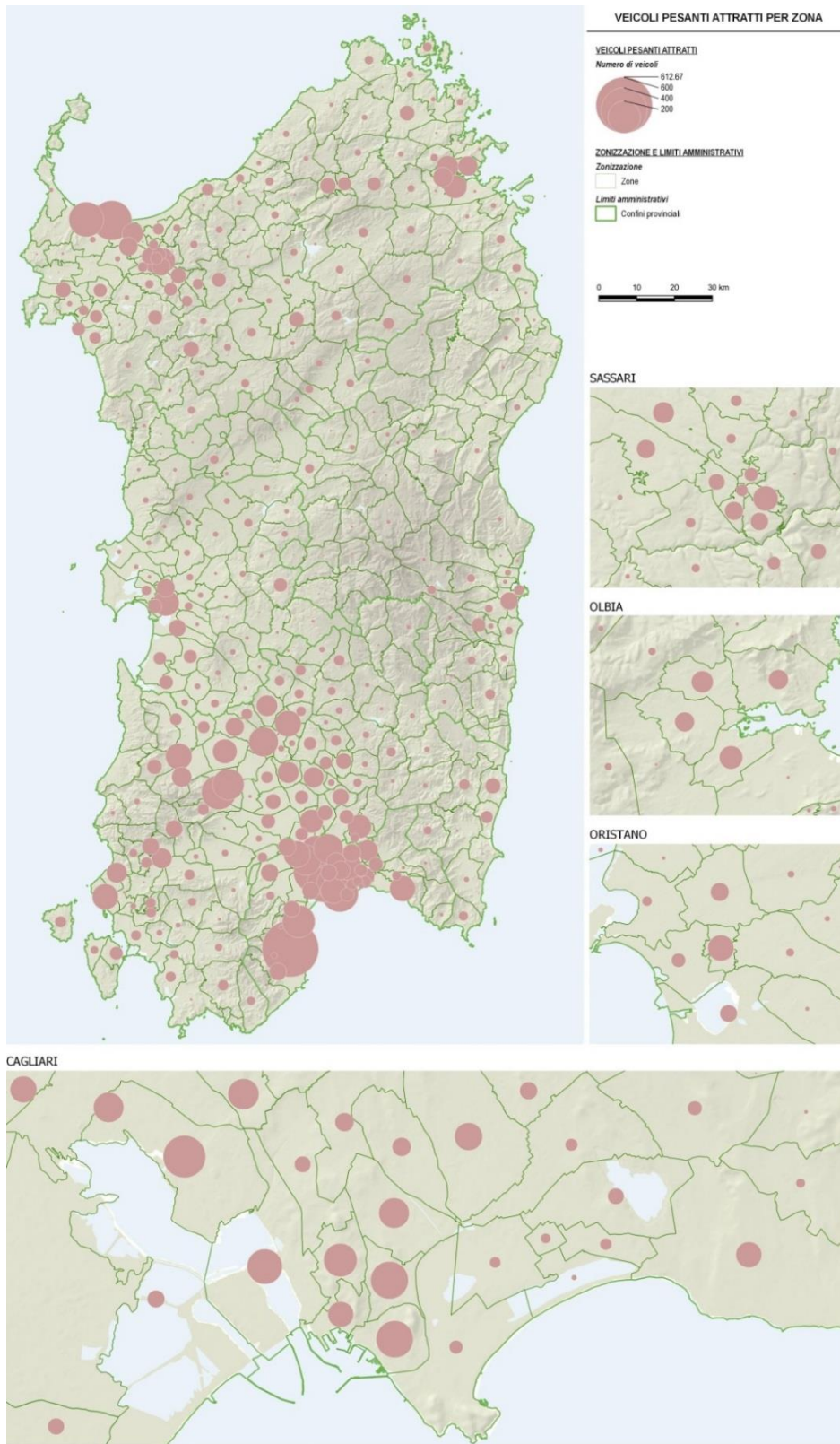
TOTALI							
	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	442.209	1.797	8.865	470	813	753	454.906
95 Prov. Oristano	1.797	116.671	5.264	6.420	2.295	142	132.588
91 Prov. Nuoro	8.865	5.264	138.035	1.436	1.153	165	154.918
111 Prov. Sud Sardegna	470	6.420	1.436	228.412	40.352	484	277.574
92 Prov. Cagliari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

Fonte: elaborazione META

Tabella 3. Matrice OD per componente veicolare

Attribuendo alle singole zone il totale dei flussi attratti, è possibile avere una rappresentazione cartografica dei principali sistemi territoriali (**Figura 6**). In particolare, nel caso dei flussi veicolari pesanti, emergono tre concentrazioni:

- a Nord il sistema di Sassari-Alghero, incluso Porto Torres, e di Olbia
- al centro i centri di Oristano e, in misura minore, Tortolì-Arbatax
- al sud, dove si concentrano gli attrattori più rilevanti, il sistema di Cagliari, ivi compresa la raffineria Sarroch. Evidente anche la presenza di diversi attrattori di medio calibro nel quadrante a Nord-Ovest di Cagliari (es: Sanliuri, Villacidro, Iglesias).



Fonte: elaborazione META
 Figura 7. Spostamenti pesanti attratti per zona

1.5 Calcolo del costo generalizzato

L'assegnazione delle matrici O/D del traffico leggero e pesante alla rete stradale viene condotta in termini di TGM, espresso come veicoli equivalenti/giorno, minimizzando per ogni componente un **costo generalizzato di viaggio** determinato come:

$$g(i,j,k) = \gamma(k) t(i,j) + c(i,j) + \delta(k) p(i,j,k)$$

dove:

$t(i,j)$ = tempo di viaggio lungo l'arco i,j

$\gamma(k)$ = valore del tempo attribuito alla categoria k

$c(i,j,k)$ = costo operativo connesso alla percorrenza dell'arco

$\delta(k)$ = coefficiente di percezione del pedaggio per la categoria k

$p(i,j)$ = pedaggio associato al transito sull'arco i,j

I tempi di viaggio $t(i,j)$ vengono a loro volta determinati in funzione del flusso transitante sull'arco F , utilizzando le funzioni BPR già illustrate nel paragrafo precedente, con i seguenti coefficienti di omogeneizzazione:

- veicoli leggeri 1.0
- veicoli pesanti 2.0

Nel caso dei veicoli pesanti, le velocità medie di percorrenza sono plafonate a valori predefiniti (90 km/h su autostrade e superstrade), con un conseguente incremento dei tempi di percorrenza rispetto ai veicoli leggeri.

1.6 Calibrazione del modello

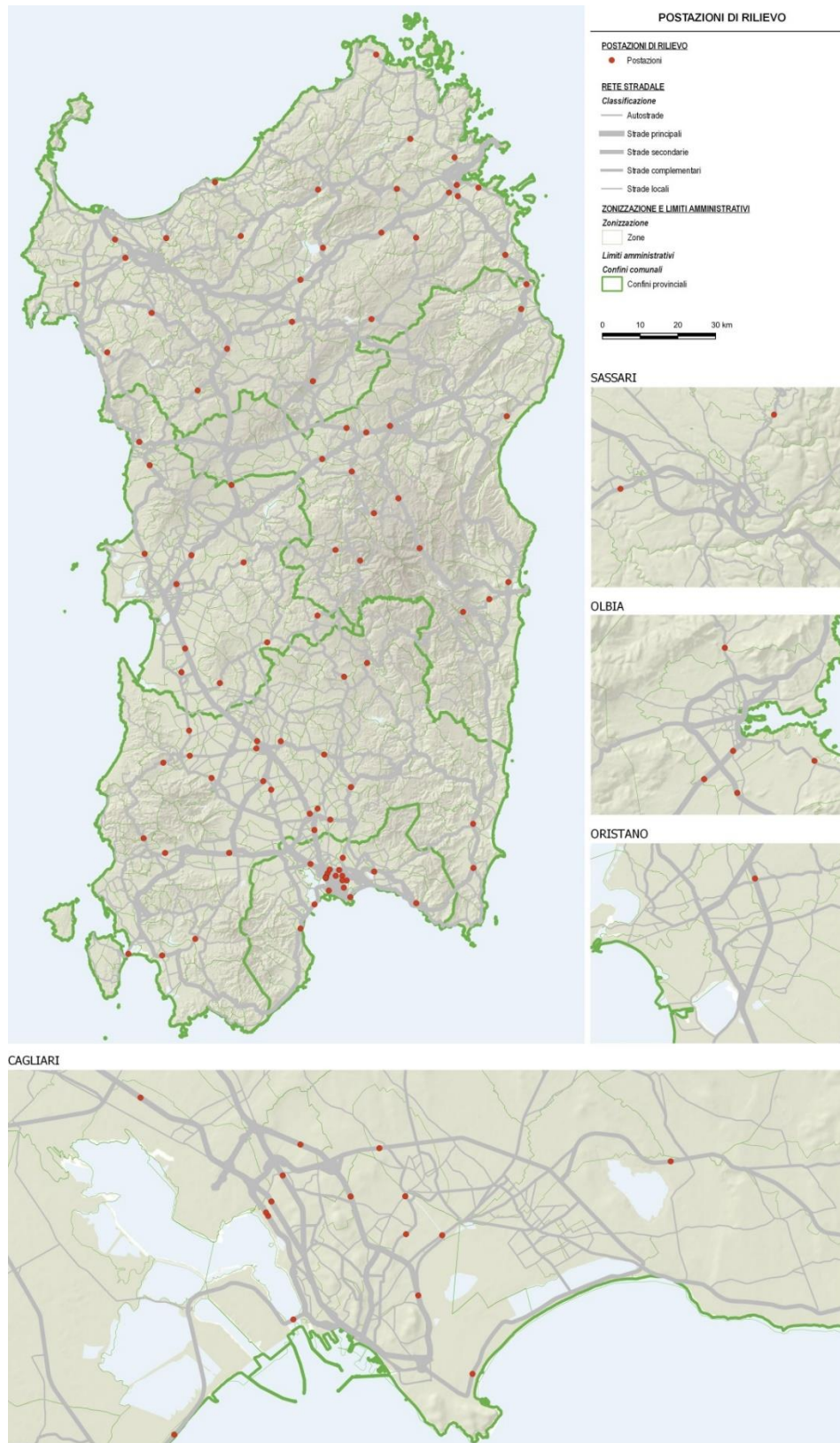
L'affidabilità del modello è correlata alla sua capacità di riprodurre, con sufficiente approssimazione, i flussi veicolari rilevati sulla rete stradale. Ne consegue la necessità di sottoporre preliminarmente il modello stesso a una accurata fase di **calibrazione**, finalizzata alla "messa a punto" degli attributi del grafo e della matrice.

Nel caso del modello della Regione Sardegna, la calibrazione è stata effettuata sulla base dei dati di traffico resi disponibili da due fonti principali.

- I dati TGM ANAS, calcolati grazie alla rete di sensori PANAMA e disponibili per gli anni 2013-2019. Per ogni postazione viene riportata la media bidirezionale dei veicoli leggeri e pesanti circolanti in un giorno medio. Dal momento che non tutte le postazioni era disponibile il dato 2019, per ognuna è stato l'anno più recente disponibile.
- I dati della Sala di controllo della mobilità del Comune di Cagliari, che restituiscono il cordone di Cagliari sulla base di 9 postazioni. Per ogni postazione viene riportato il totale di veicoli in transito per direzione, senza però avere una distinzione fra leggeri e pesanti.

Da evidenziare che, con l'esclusione di Cagliari, i principali centri urbani non hanno una copertura di postazioni sufficiente a verificare accuratamente la corrispondenza fra quanto simulato e il reale assetto dei flussi veicolari.

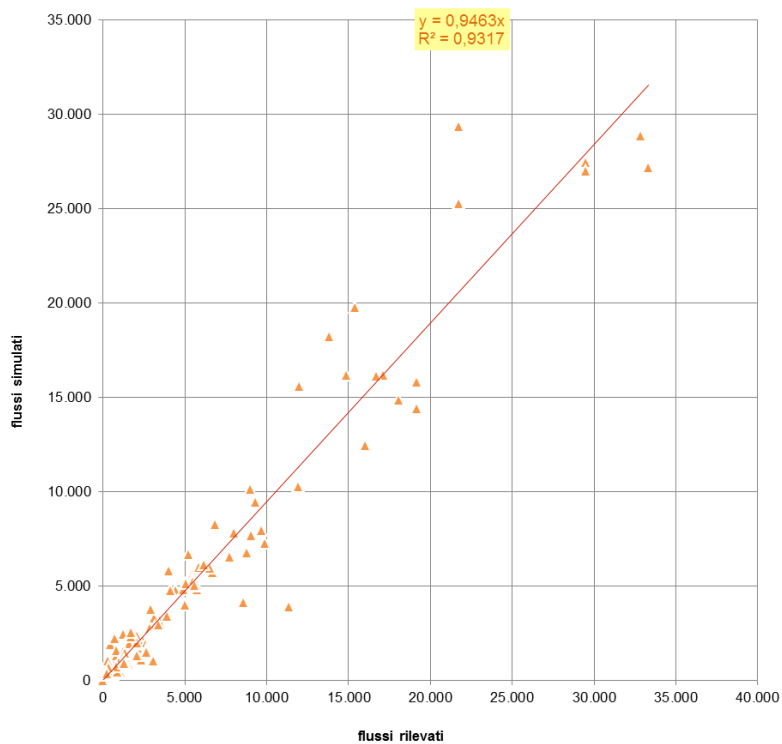
L'immagine seguente (**Figura 7**) mostra la localizzazione dei punti di calibrazione utilizzati sull'intero territorio regionale.



Fonte: elaborazione META

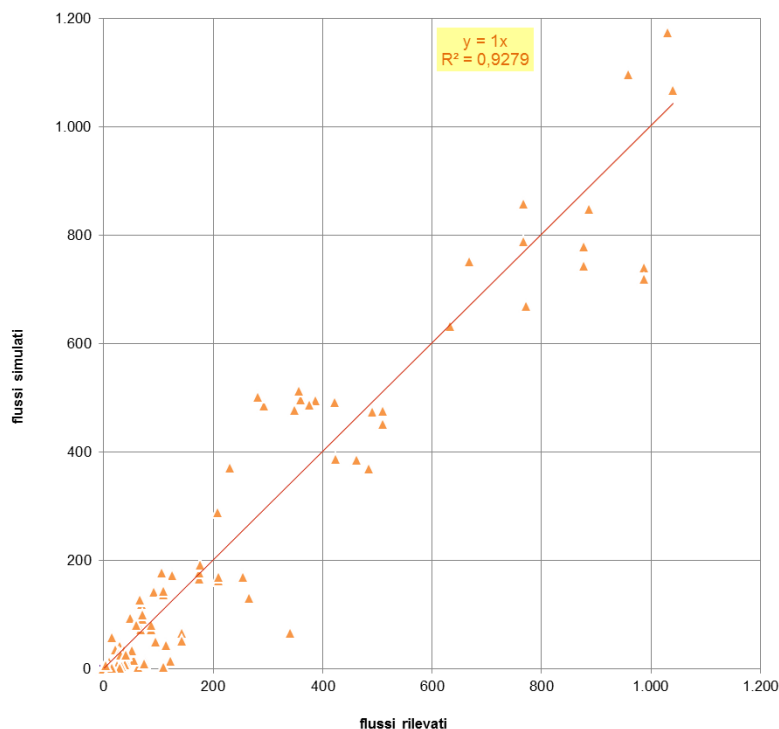
Figura 8. Localizzazione delle postazioni di rilievo

Il confronto fra i flussi rilevati con quelli simulati dal modello di traffico evidenzia il raggiungimento di un buon livello di correlazione, con parametro R^2 pari a 0.93 sull'intera rete ed intercetta 0,94 sul totale dei veicoli circolanti (**Figura 8**). Per quanto riguarda i veicoli pesanti, invece, l'intercetta è pari a 1, mentre l' R^2 è quasi 0.93 (**Figura 9**).



Fonte: elaborazione META

Figura 9. Calibrazione del modello regionale – totale flussi



Fonte: elaborazione META

Figura 10. Calibrazione del modello regionale –flussi pesanti

1.7 Simulazione dello stato di fatto

Il modello di simulazione del traffico, opportunamente calibrato, descrive in modo ragionevolmente accurato i carichi veicolari gravanti sulla rete viaria regionale in un giorno feriale medio.

Per quanto riguarda la rete primaria e di distribuzione, direttamente interessata dai conteggi di traffico utilizzati in fase di calibrazione, la sua attendibilità rispecchia le condizioni descritte nel precedente paragrafo, mentre per quanto attiene alla rete strettamente locale, i risultati ottenuti assumono un valore più indicativo eventualmente meglio definibile in fasi successive nel caso si disponesse di rilievi sul campo.

Osservando il flussogramma dei carichi veicolari simulati su ciascun arco stradale, riportato nelle immagini seguenti, è possibile riconoscere alcuni caratteri peculiari del traffico che interessano la rete stradale regionale

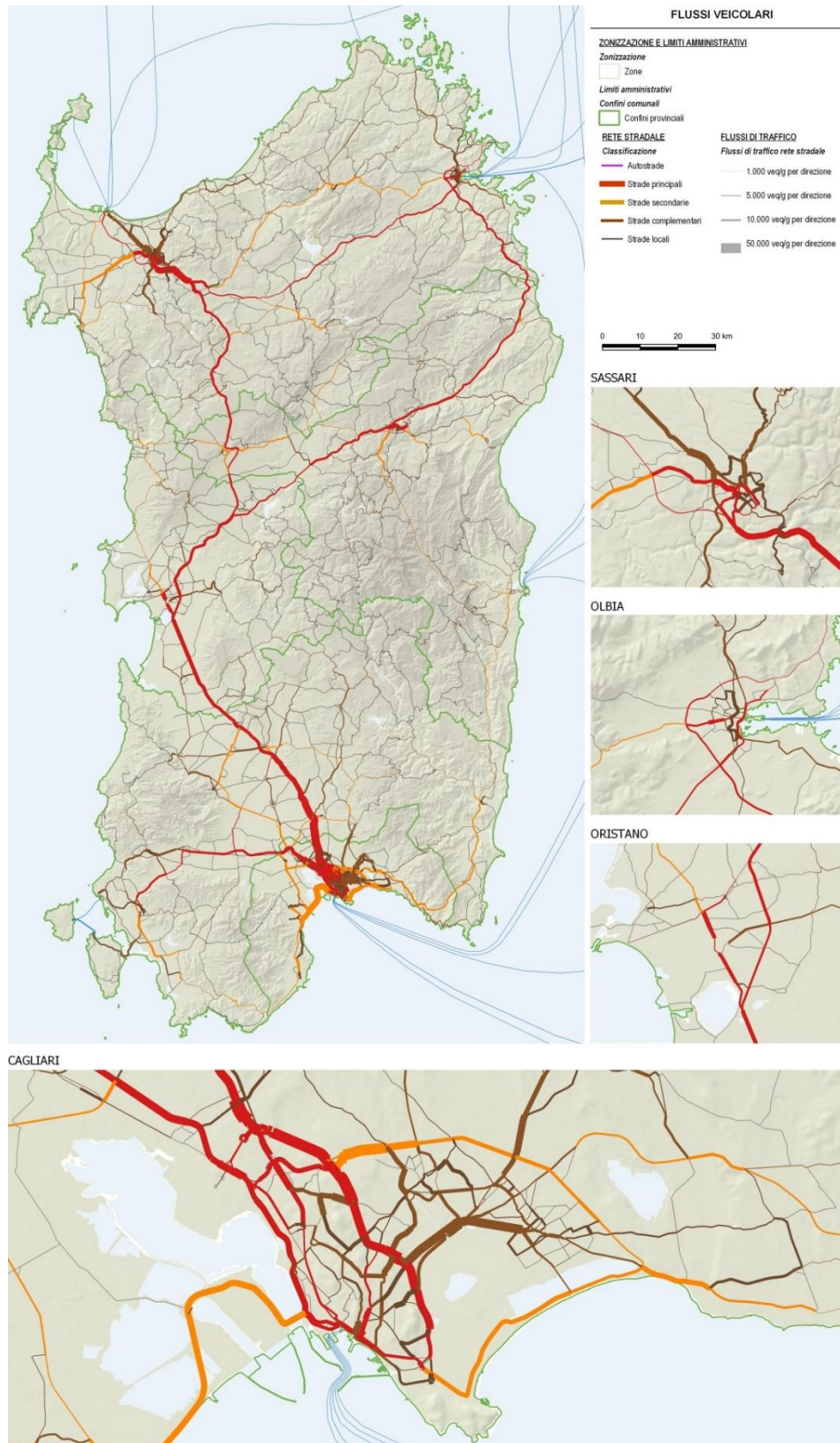
In particolare, risulta evidente come il traffico veicolare complessivo (**Figura 10**) si sviluppi prevalentemente nella **Città Metropolitana di Cagliari**, in primo luogo internamente all'area urbana in modo diffuso e quindi lungo le seguenti direttrici principali:

- in direzione Nord: Oristano con relativi innesti verso l'entroterra
- in direzione Ovest: Siliqua, Iglesias, Sant'Anna Arresi, Sant'Antioco
- in direzione Est: Villasimius con prosecuzione lungo la costa in direzione Arbatax.

A nord dell'isola, Il traffico veicolare leggero si sviluppa prevalentemente nell'area urbana di **Sassari-Porto Torres-Alghero**, in quella di **Olbia** e di **Nuoro** e lungo le direttrici di collegamento tra i tre poli. Rispetto al sistema cagliaritano, i flussi risultano maggiormente distribuiti nel resto della rete stradale

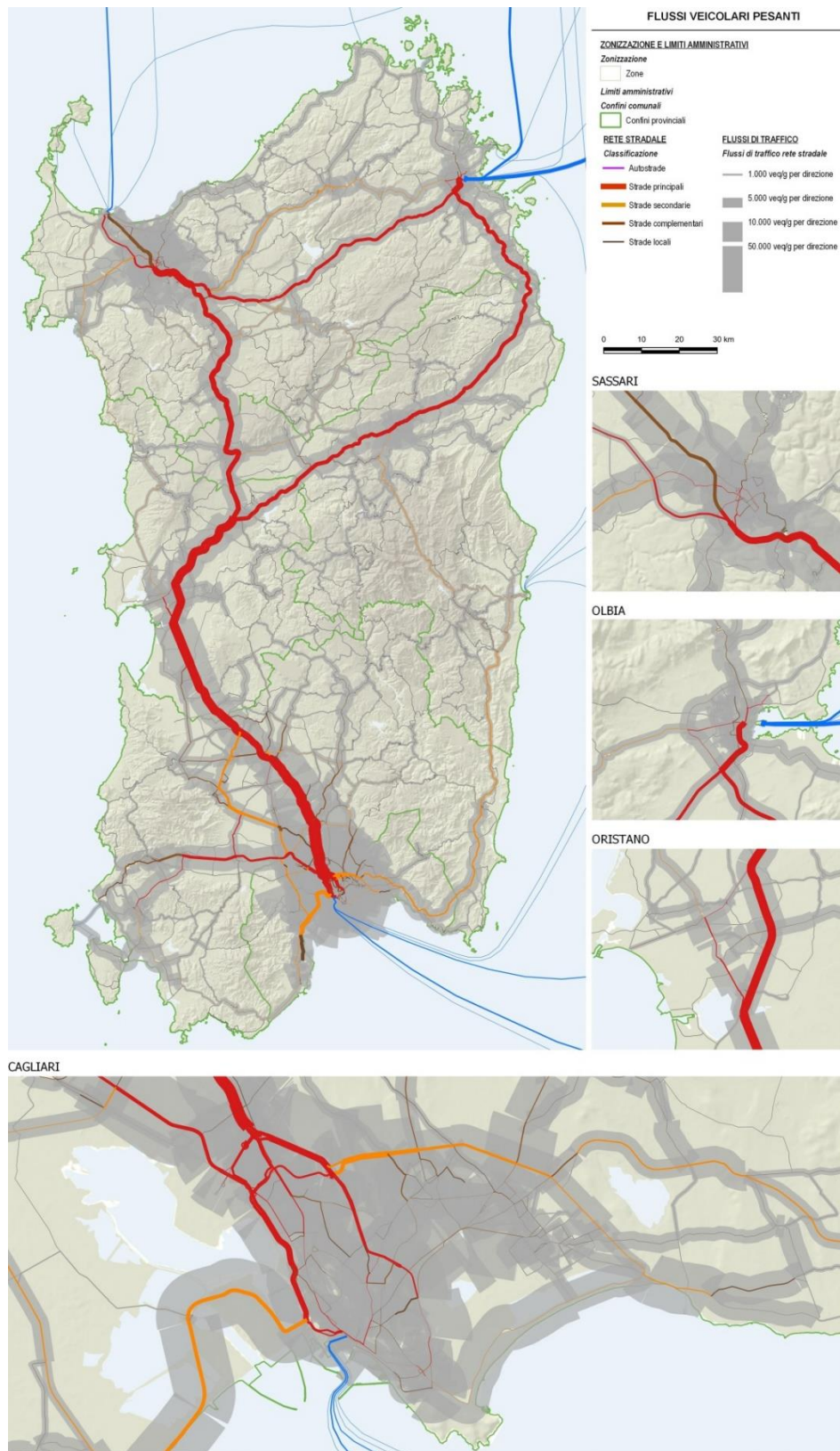
Il flusso pesante (Figura 11) si concentra su un limitato insieme di infrastrutture stradali:

- la SS131 Carlo Felice risulta essere la strada con i carichi pesanti più elevati, in particolare a sud dell'isola. A nord, pur mantenendo un ruolo di primo piano, i flussi sono infatti più distribuiti
- lungo la Variante SS 126 Sud-occidentale sarda
- la SS 131 DCN Diramazione Centrale Nuorese per collegamenti Oristano-Olbia
- in direzione Ovest lungo il primo tratto della SS130 Iglesiente fino alla SS293 da cui i flussi si dividono riducendosi ulteriormente
- in direzione Est Villasimius con prosecuzione lungo la costa in costante riduzione fino ad Arbatax.



Fonte: elaborazione META

Figura 11. Flussi veicolari complessivi – stato di fatto



Fonte: elaborazione META

Figura 12. Flussi veicolari pesanti – stato di fatto

L'utilizzo di un modello di simulazione presenta anche il vantaggio, non secondario, di permettere l'estrazione di statistiche aggregate, che descrivono in modo sintetico la "quantità di traffico" presente e/o prevista nel territorio regionale.

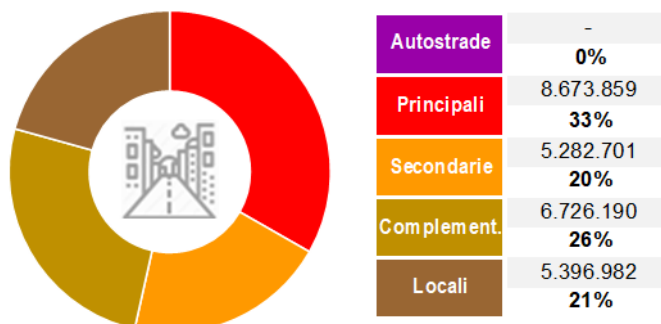
Tali statistiche sono espresse secondo due tipiche grandezze, così definite:

- **volume totale di traffico**, corrispondente alla somma delle distanze percorse da tutti i veicoli entro l'area di studio in un determinato periodo di tempo, espresso in veicoli x chilometro giornalieri (*vkm/giorno*)
- **tempo di percorrenza complessivo**, corrispondente alla somma dei tempi impiegati da ciascun veicolo per percorrere gli archi stradali, espresso in veicoli x ora, sempre giornalieri (*vh/giorno*).

Il rapporto tra questi due indicatori restituisce la velocità media di deflusso sul grafo, espressa in $vkm : vh = km/h$.

A livello complessivo, in una giornata "media" (lavorativa, invernale e scolastica), sulla rete stradale regionale sono stati simulati 26 milioni di veicoli equivalenti*km/giorno (**Figura 12 e Tabella 3**). Tali flussi si concentrano in misura simile fra la rete principale (33%) e quella complementare (26%). Simili anche le quote della rete secondaria (20%) e locale (21%). Le percorrenze complessive ammontano a quasi 440 mila veicoli*ora/giorno, per una velocità media di quasi 60 km/h, con valori più alti sulla rete principale (oltre 80 km/h), e più contenuti su quella locale (40 km/h).

Volumi di traffico - Regione Sardegna



Fonte: elaborazione META

Figura 13. Riepilogo delle percorrenze complessive

VOLUMI E PERCORRENZE - Regione Sardegna				
CLASSE	Estesa	Volumi	Tempi	Velocità
	km	veq*km/giorno	veic*h/giorno	km/h
Principali	596	8.673.859	93.473	86,3
Secondarie	1.122	5.282.701	83.658	61,3
Complement.	2.052	6.726.190	131.893	50,3
Locali	3.937	5.396.982	128.789	41,4
Navigazione	1.259	593.774	20.008	29,7
TOTALE	8.965,5	26.079.731	437.813	59,6

Fonte: elaborazione META

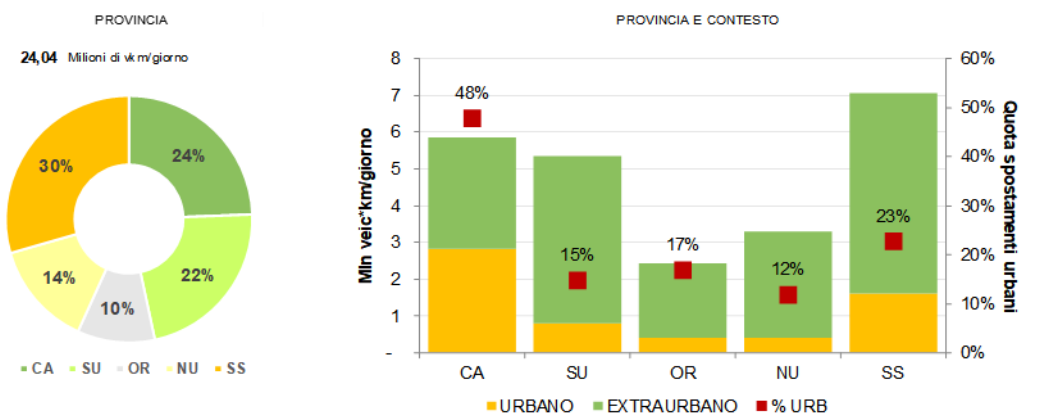
Tabella 4. Volumi e percorrenze

È possibile, inoltre, articolare queste statistiche per macro-categoria veicolare (leggeri/pesanti), territorio attraversato (province) e tipo di contesto (urbano/extraurbano).

Per quanto riguarda i **veicoli leggeri**, i 24 milioni di veicoli*km/giorno si distribuiscono in quote simili fra le Provincia di Sassari, (30%), nella Città Metropolitana di Cagliari (24%) e nella Provincia del Sud-Sardegna (22%), mentre di minor rilevanza le Provincie di Nuoro (12%) e Oristano (10%). Nella Città Metropolitana, quasi la metà degli spostamenti è in ambito urbano (48%), quota che scende a meno di un quarto a Sassari (23%) e a valori ancora inferiori a Oristano (17%), Sud Sardegna (15%) e Nuoro (12%).

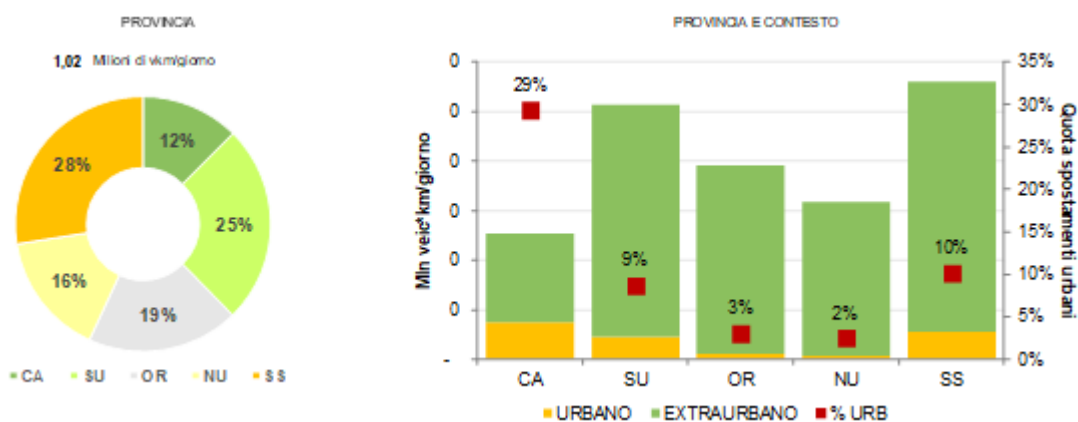
Per quanto riguarda invece la distribuzione delle percorrenze dei **veicoli pesanti**, la principale provincia di riferimento rimane Sassari (28%), seguita da Sud Sardegna (25%) Oristano (19%), Nuoro (16%) e Cagliari (12%). L'incidenza degli spostamenti urbani è nettamente inferiore al caso precedente, con un valore massimo del 29% a Cagliari e gli altri casi inferiori o uguali al 10%.

Questa diversità fra leggeri e pesanti conferma la diversa geografia degli spostamenti per le due categorie veicolari, dove i flussi leggeri tendono a concentrarsi sui poli urbani, mentre quelli pesanti tendono ad attraversare l'intera isola, in particolare connettendo Cagliari-Oristano-Sassari/Olbia.



Fonte: elaborazione META

Figura 14. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli leggeri



Fonte: elaborazione META

Figura 15. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli pesanti

Per un quadro complessivo volumi e percorrenze, le statistiche desunte dalla rete assegnata vengono infine integrate parametricamente con quelle relative agli spostamenti intrazonali e gli ingressi/egressi dalla rete. In entrambi i casi, vengono applicati alla matrice delle lunghezze e dei tempi di percorrenza medi specifici per la zona.

Per quanto riguarda gli **spostamenti intrazonali**, la lunghezza media viene calcolata come distanza media in linea d'aria fra le differenti sezioni censuarie interne alla zona. Le distanze vengono quindi pesate sulla base della popolazione ivi residente (dato 2011). Per quanto riguarda i tempi, questi vengono calcolati invece sulla base della velocità media della rete interna alla zona, con l'esclusione delle infrastrutture più performanti, caratterizzate da una vocazione maggiormente interzonale. Ne risultano quasi 350.000 veq*km/giorno e 8.000 veic*h/giorno, per una velocità media di quasi 43 km/h

Con riferimento invece ai **costi di ingresso/egresso**, le lunghezze sono calcolate sulla base della distanza media delle sezioni censuarie dal connettore della zona, mentre i tempi vengono calcolati come nel caso precedente. Ne risultano quasi 2.7 milioni di veq*km/giorno e 0.5 milioni di veic*h/giorno, per una velocità media di circa 35 km/h (**Tabella 4**)

VOLUMI E PERCORRENZE - Regione Sardegna			
CLASSE	Volumi	Tempi	Velocità
	veq*km/giorno	veic*h/giorno	km/h
Rete simulata	26.079.731	437.813	59,6
Intrazonali	345.825	8.073	42,7
Ingresso/Egresso	2.691.546	75.491	35,3
TOTALE	29.117.103	521.377	53,9

Fonte: elaborazione META

Tabella 5. Riepilogo volumi e percorrenze dello stato di fatto

2. Aspetti metodologici: calcolo del coefficiente di rischio

L'introduzione del GNL in territorio sardo comporta alcune problematiche relative alla configurazione della rete distributiva e alle modalità del suo approvvigionamento, che si prevede debba essere effettuato a mezzo di autocisterne criogeniche, che effettuano spostamenti da porti di sbarco del gas, ai singoli punti-rete.

Un ovvio requisito di questa rete distributiva consiste nella sua sicurezza, ovvero nel contenimento dei rischi (modesti, ma non del tutto trascurabili) associati alla circolazione delle autocisterne, entro limiti di accettabilità sociale.

A tal fine, risulta opportuno condurre un approfondimento mirato sugli **itinerari di minimo rischio** tra i punti di carico e di scarico del prodotto.

Questo approfondimento può essere condotto mediante il modello di simulazione, già impiegato per ricostruire i flussi di traffico sulla rete, associando a ciascun arco stradale un coefficiente di rischio ottenuto come prodotto fra la probabilità che su di esso si verifichi un sinistro stradale che coinvolga un'autocisterna, e l'entità dei danni potenzialmente associati a tale evento.

$$\text{Coefficiente di rischio} = \text{probabilità del sinistro} \times \text{danno potenziale}$$

La costruzione di un coefficiente di questo genere è stata oggetto, in anni recenti, di numerosi approfondimenti collegati alla gestione dei flussi di merci pericolose sulla rete nazionale (Orso Giaccone *et al.* 2012, Studer *et al.* 2012, 2018, Borghetti *et al.* 2015, Gandini *et al.* 2015).

In prima approssimazione, la costruzione del coefficiente di rischio è stata ottenuta confrontando due serie di dati statistici, riconducibili rispettivamente:

- ai livelli di incidentalità riscontrati sulla rete stradale sarda
- alla presenza lungo i singoli archi stradali, o nelle loro immediate vicinanze, di soggetti potenzialmente esposti, identificati negli automobilisti in transito, nelle persone residenti attorno alla strada, nonché negli ambiti sensibili dal punto di vista naturalistico.

3. Analisi dell'incidentalità sulla rete stradale sarda

3.1 Generalità

Il coefficiente di rischio si basa, in primo luogo, sui tassi di incidentalità, calcolati a partire dalla probabilità di accadimento dell'incidente in relazione alla tipologia di strada e all'entità del flusso veicolare in essa transitante.

In sintesi, data per assunta la ricostruzione dei volumi di traffico della rete stradale effettuata utilizzando il modello di traffico secondo la metodologia esposta nei paragrafi precedenti, la procedura per il calcolo del coefficiente di rischio per quanto riguarda la ricostruzione del numero di veicoli coinvolti in incidente all'anno passa attraverso le seguenti fasi:

- a) acquisizione dei dati di incidentalità, resi disponibili dall'ISTAT
- b) codifica delle strade sul grafo stradale e confronto tra statistiche degli incidenti e volumi di traffico
- c) ricostruzione per ogni arco stradale del modello del numero di veicoli coinvolti in incidenti all'anno.

3.2 Acquisizione dei dati di incidentalità

I dati di incidentalità stradale su cui si basa la presente metodologia provengono dal database ISTAT. I dati, raccolti dall'istituto di statistica mediante rilevazioni mensili su tutto il territorio nazionale, considerano quegli incidenti che hanno causato lesioni alle persone coinvolte (feriti o morti entro il trentesimo giorno dal sinistro). Non sono considerati, quindi, gli incidenti in cui sono stati rilevati esclusivamente danni a cose⁴.

L'intervallo di tempo scelto è l'ultimo quinquennio disponibile (2014-2018). La scelta di questo intervallo di tempo è stata dettata dalla necessità di avere una base dati sufficientemente ampia per essere statisticamente rilevante.

L'analisi dell'incidentalità per il calcolo del coefficiente di rischio è stata elaborata considerando gli incidenti accaduti sulle strade statali della Regione Sardegna. In particolare, la localizzazione dell'incidente sulla rete è stata determinata incrociando il dato riguardante il codice comunale e quello relativo alla sigla della strada statale.

Questa scelta è stata dettata, da un lato, dalla particolare configurazione della rete infrastrutturale regionale soprattutto tenendo conto che la mobilità dei mezzi pesanti, escluso l'“ultimo miglio”, avviene principalmente lungo questa tipologia di strade, e dall'altro, dalla qualità stessa del dato ISTAT. Infatti, le informazioni circa la localizzazione del singolo incidente non sono rilasciate in forma di coordinate geografiche bensì sono ricostruibili incrociando i seguenti dati: il codice comunale, la tipologia di strada (statale, urbana, extraurbana, ecc.), la sigla della strada (di cui viene riportata solo la parte numerica), la progressiva chilometrica se presente e la toponomastica (quest'ultima informazione è rilasciata solo fino all'anno 2016 compreso).

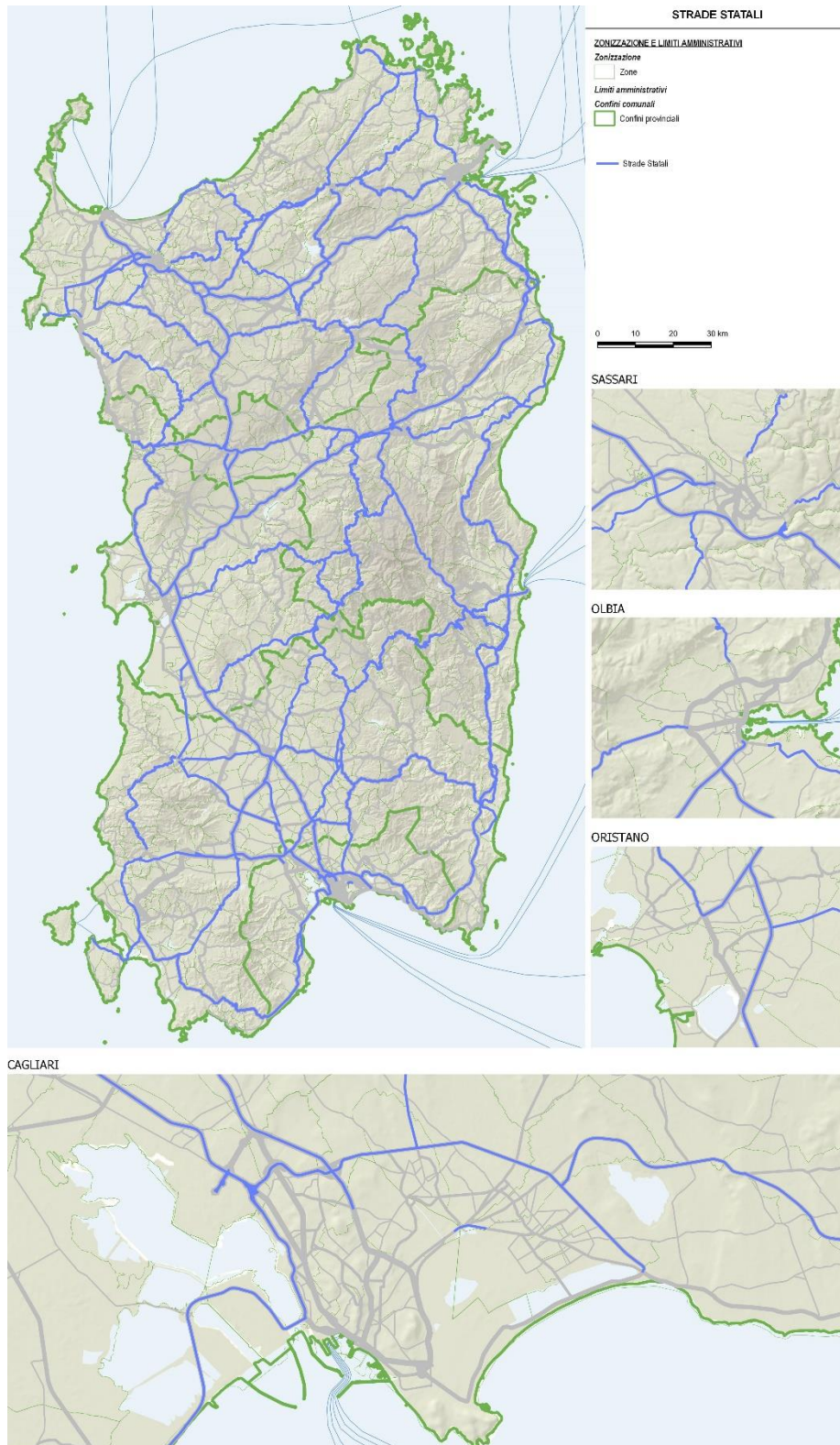
⁴ Si ricorda che l'incidente stradale è “*il fatto verificatosi nelle vie o piazze aperte alla circolazione nel quale risultano coinvolti veicoli (o animali) fermi o in movimento e dal quale siano derivate lesioni a persone*”. ISTAT, Aspetti metodologici dell'indagine. Rilevazione degli incidenti stradali con lesioni a persone.

A supporto di questa scelta è stata effettuata una prima analisi preliminare che restituisce il quadro dell'incidentalità sul quinquennio considerato. A fronte di un totale di 17.423 incidenti sull'intera rete del territorio regionale nel periodo considerato, 1.366 incidenti si sono verificati con il coinvolgimento di un mezzo pesante (il database ISTAT non fa approfondimenti circa le sottocategorie di mezzi pesanti), nella percentuale del 7,8%. Di questi incidenti 776 si sono verificati su strade di cui il database riportata la sigla (quindi localizzabili) e, in particolare, 523 sono accaduti lungo strade statali. È quindi corretto pensare che l'indagine delle sole strade statali possa ritenersi un buon compromesso per quanto riguarda il rischio di incidentalità, soprattutto se rivolta all'analisi del rischio che concerne i mezzi pesanti, senza essere troppo oneroso in termini di tempi o costi.

3.3 Codifica delle strade sul grafo

Operazione preliminare fondamentale per una corretta localizzazione degli incidenti sulla rete delle strade statali in Sardegna è consistita nell'identificazione di tutte le strade di interesse e nella conseguente redazione di un'anagrafica di riferimento. Successivamente, ognuna di queste strade è stata codificata sul grafo stradale utilizzato dal modello, rendendo possibile il confronto fra i flussi, derivati dalle simulazioni, con i dati dell'incidentalità, derivati dall'analisi dei dati ISTAT⁵ (**Figura 17** e **Tabella 7**).

⁵ La principale fonte utilizzata per la codifica delle strade statali è il grafo stradale ANAS, riferito al 2015 e disponibile presso <http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/grafico-stradale-anas>



Fonte: elaborazione META
 Figura 16. Distribuzione delle percorrenze dei veicoli pesanti

COD	NOME STRADA	Veicoli*km/anno		
		Leggeri	Pesanti	Totali
NSA167	DI ITTIRI	1.935.844	-	1.935.844
SS125	ORIENTALE SARDA	169.694.581	1.198.726	170.893.307
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	184.238.463	3.037.067	187.275.531
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	12.939.580	43.979	12.983.559
SS128bis	CENTRALE SARDA	71.384.879	243.678	71.628.557
SS129	TRASVERSALE SARDA	4.197.357	1.147.850	5.345.208
SS131	CARLO FELICE	627.158.889	45.350.242	672.509.131
SS131bis	CARLO FELICE	27.046.980	-	27.046.980
SS131dir-centr	NUORESE	200.048.594	-	200.048.594
SS132	DI OZIERI	24.439.667	-	24.439.667
SS133	DI PALAU	43.864.502	93.408	43.957.911
SS133bis	DI PALAU	22.170.798	-	22.170.798
SS134	DI CASTEL SARDO	166.972	-	166.972
SS199	DI MONTI	52.203	-	52.203
SS200	DELL'ANGLONA	76.300.946	493.671	76.794.617
SS291	DELLA NURRA	42.531.527	576.092	43.107.619
SS291var	DELLA NURRA	8.894.300	-	8.894.300
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	19.346.555	1.108.068	20.454.624
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA	6.801.951	-	6.801.951
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	9.104.141	112.446	9.216.588
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	4.590.940	-	4.590.940
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS	15.979.772	-	15.979.772
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	30.899.131	135.042	31.034.173
SS597	DI LOGUDORO	143.839.833	11.834.395	155.674.228
SS672	SASSARI - TEMPIO	59.924.210	2.657.636	62.581.846
SS729	SASSARI - OLBIA	114.514.178	7.505.514	122.019.693
PROVINCIA DI SASSARI		1.924.435.160	73.169.452	1.997.604.612
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	27.575.969	658.866	28.234.835
SS128	CENTRALE SARDA	3.528.637	22.814	3.551.451
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	26.068.397	9.899	26.078.296
SS131	CARLO FELICE	570.242.655	45.350.242	615.592.898
SS131dir-centr	NUORESE	90.393.150	-	90.393.150
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	146.619.486	1.108.068	147.727.554
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	65.737.550	94.637	65.832.187
SS442	DI LACONI E DI URAS	25.795.690	-	25.795.690
PROVINCIA DI ORISTANO		941.475.624	61.730.437	1.003.206.061
SS125	ORIENTALE SARDA	120.964.313	1.198.726	122.163.039
SS125var	NUOVA SS125	9.790.218	-	9.790.218
SS128	CENTRALE SARDA	93.421.942	22.814	93.444.757
SS129	TRASVERSALE SARDA	169.516.458	1.147.850	170.664.308
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	24.559.468	9.899	24.569.367
SS131	CARLO FELICE	110.894.984	45.350.242	156.245.226
SS131dir-centr	NUORESE	836.306.216	-	836.306.216
SS198	DI SEUI E LANUSEI	94.778.132	233.333	95.011.466
SS295	DI ARITZO	18.782.426	25.972	18.808.399
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	13.964.420	94.637	14.059.057
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	33.677.882	112.446	33.790.329
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	16.639.481	-	16.639.481
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	107.212.133	-	107.212.133
SS390	DI BARI SARDO	2.937.001	89.285	3.026.286
PROVINCIA DI NUORO		1.678.824.429	22.905.850	1.701.730.280
SS125	ORIENTALE SARDA	6.675.037	1.198.726	7.873.763
SS125var	NUOVA SS125	165.893.041	-	165.893.041
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	212.614.257	658.866	213.273.123
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA	44.650.608	-	44.650.608
SS128	CENTRALE SARDA	162.785.858	22.814	162.808.672
SS130	IGLESIENTE	240.813.392	8.618.031	249.431.423
SS130dir	IGLESIENTE	17.390.671	-	17.390.671
SS131	CARLO FELICE	552.615.519	45.350.242	597.965.762
SS195	SULCITANA	132.569.703	283.295	132.852.998
SS196	DI VILLACIDRO	114.240.839	6.390.725	120.631.564
SS196dir	DI VILLACIDRO	29.301.087	-	29.301.087
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI	186.437.843	971.903	187.409.746
SS198	DI SEUI E LANUSEI	26.636.137	233.333	26.869.470
SS293	DI GIBA	96.702.279	1.343.987	98.046.266
SS387	DEL GERREI	119.145.136	260.938	119.406.074
SS466	DI SIBIOLA	38.608.397	744.825	39.353.222
SS547	DI GUASILA	33.920.031	494.553	34.414.584
PROVINCIA DI SUD SARDEGNA		2.179.059.404	68.512.668	2.247.572.073
SS125var	NUOVA SS125	133.203.574	-	133.203.574
SS130	IGLESIENTE	204.384.144	8.618.031	213.002.175
SS130dir	IGLESIENTE	5.184.145	-	5.184.145
SS131	CARLO FELICE	123.812.617	45.350.242	169.162.860
SS131dir	CARLO FELICE	110.940.850	1.942.329	112.883.179
SS195	SULCITANA	295.750.982	283.295	296.034.277
SS195racc	VIA S. PAOLO	58.438.967	-	58.438.967
SS196	DI VILLACIDRO	9.113.699	6.390.725	15.504.423
SS387	DEL GERREI	66.896.433	260.938	67.157.370
SS391	DI ELMAS	-	7.627	7.627
SS554	CAGLIARITANA	277.121.318	6.568.200	283.689.518
CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI		1.321.905.452	32.362.662	1.354.268.114
TOTALE		8.045.700.070	258.681.070	8.304.381.140

Fonte: elaborazione META
 Tabella 6. Percorrenze per strada statale

Grazie a questa elaborazione diviene inoltre possibile una prima valutazione del ruolo assunto dalla rete delle strade statali nel territorio regionale. In particolare, su vi si concentra il 56% delle percorrenze chilometriche simulate, che raggiungono l'83% riferendosi ai soli veicoli pesanti (**Tabella 8**).

CONCENTRAZIONE DEI FLUSSI SULLA RETE DELLE STRADE STATALI						
	leggeri		pesanti		totale	
	mvkm/giorno	%	mvkm/giorno	%	mveqkm/giorno	%
Strade statali	12,83	53%	0,84	83%	14,5	56%
Resto rete	11,21	47%	0,17	17%	11,6	44%
TOTALE	24,04	100%	1,02	100%	26,1	100%

Fonte: elaborazione META

Tabella 7. Concentrazione dei flussi sulla rete delle strade statali

3.4 Calcolo del numero di veicoli coinvolti in incidenti all'anno

Una volta effettuate le operazioni preliminari sopra descritte, è quindi possibile associare ogni singolo incidente avvenuto su strada statale (tramite il codice del comune e la sigla della strada statale) alla porzione di strada statale del grafo avente il medesimo codice che insiste su quel determinato territorio comunale e, conseguentemente, ricavare il numero dei veicoli coinvolti in incidenti (dato estraibile dal database ISTAT) su quel particolare tronco.

Sono quindi stati individuati i tratti stradali con il maggior numero di incidenti andando ad evidenziare 3 livelli di servizio:

- strada non statale (nel nostro caso neutra in quanto non viene riportata l'incidentalità)
- strada statale senza incidenti rilevati nel quinquennio 2014-2018
- strada statale con incidenti rilevati nel quinquennio 2014-2018

I risultati ottenuti sull'insieme della rete sono illustrati in Tabella 8, che riporta per ciascuna strada statale sarda i **tassi di incidentalità, lesività e mortalità**, ottenuti rapportando al volume di traffico, rispettivamente, il numero di sinistri rilevati, di persone coinvolte (morti+feriti), e di persone decedute. Come si può osservare, questi tassi variano notevolmente da strada a strada, risultando non infrequente il caso di arterie a limitato traffico, comunque caratterizzate da un certo numero di sinistri e dunque, in definitiva, da tassi di incidentalità relativamente elevati in rapporto al resto della rete.

COD	NOME STRADA	Veicoli*km/ANNO	n° incidenti per 100 Mvkm	persone coinvolte per 100 Mvkm	n° morti per 100 Mvkm
NSA167	DI ITTIRI	1.935.844	10,3	10,3	10,3
SS125	ORIENTALE SARDA	170.893.307	25,5	40,5	0,6
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	187.275.531	12,6	22,0	0,3
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	12.983.559	98,6	180,2	3,1
SS128bis	CENTRALE SARDA	71.628.557	7,0	11,4	0,8
SS129	TRASVERSALE SARDA	5.345.208	11,2	37,4	0,0
SS131	CARLO FELICE	672.509.131	10,4	16,7	0,1
SS131bis	CARLO FELICE	27.046.980	6,7	12,6	0,7
SS131dir-centr	NUORESE	200.048.594	7,2	11,0	0,3
SS132	DI OZIERI	24.439.667	4,1	7,4	0,0
SS133	DI PALAU	43.957.911	11,4	19,6	0,9
SS133bis	DI PALAU	22.170.798	8,1	10,8	0,9
SS134	DI CASTEL SARDO	166.972	239,6	359,3	0,0
SS199	DI MONTI	52.203	383,1	1149,3	0,0
SS200	DELL'ANGLONA	76.794.617	18,2	34,4	0,8
SS291	DELLA NURRA	43.107.619	35,3	58,0	1,4
SS291var	DELLA NURRA	8.894.300	6,7	20,2	4,5
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	20.454.624	13,7	21,5	0,0
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA	6.801.951	8,8	11,8	0,0
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	9.216.588	17,4	19,5	4,3
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	4.590.940	13,1	17,4	0,0
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS	15.979.772	10,0	12,5	0,0
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	31.034.173	5,2	7,7	0,0
SS597	DI LOGUDORO	155.674.228	7,6	16,8	0,6
SS672	SASSARI - TEMPIO	62.581.846	5,1	11,5	0,6
SS729	SASSARI - OLBIA	122.019.693	6,6	13,6	0,0
PROVINCIA DI SASSARI		1.997.604.612	12,1	20,6	0,4
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	28.234.835	12,8	21,3	1,4
SS128	CENTRALE SARDA	3.551.451	33,8	50,7	5,6
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	26.078.296	23,8	43,7	0,0
SS131	CARLO FELICE	615.592.898	3,8	6,3	0,3
SS131dir-centr	NUORESE	90.393.150	5,3	8,4	0,2
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	147.727.554	8,0	13,0	0,1
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	65.832.187	8,8	15,8	1,5
SS442	DI LACONI E DI URAS	25.795.690	7,8	12,4	0,8
PROVINCIA DI ORISTANO		1.003.206.061	20,3	34,9	0,7
SS125	ORIENTALE SARDA	122.163.039	27,0	41,1	2,0
SS125var	NUOVA SS125	9.790.218	22,5	32,7	2,0
SS128	CENTRALE SARDA	93.444.757	6,6	8,8	0,6
SS129	TRASVERSALE SARDA	170.664.308	13,2	25,7	1,6
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	24.569.367	25,2	53,7	0,8
SS131	CARLO FELICE	156.245.226	5,0	9,5	0,0
SS131dir-centr	NUORESE	836.306.216	4,4	7,5	0,2
SS198	DI SEUI E LANUSEI	95.011.466	8,2	13,7	0,6
SS295	DI ARITZO	18.808.399	12,8	12,8	0,0
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	14.059.057	10,0	12,8	1,4
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	33.790.329	32,0	55,0	1,2
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	16.639.481	4,8	6,0	0,0
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	107.212.133	2,6	5,6	0,6
SS390	DI BARI SARDO	3.026.286	138,8	231,3	0,0
PROVINCIA DI NUORO		1.701.730.280	8,5	14,4	0,6
SS125	ORIENTALE SARDA	7.873.763	63,5	78,7	2,5
SS125var	NUOVA SS125	165.893.041	3,7	6,3	0,1
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	213.273.123	13,1	25,1	0,7
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA	44.650.608	2,7	9,4	0,0
SS128	CENTRALE SARDA	162.808.672	7,5	15,2	0,4
SS130	IGLESIENTE	249.431.423	7,6	11,8	0,6
SS130dir	IGLESIENTE	17.390.671	9,2	21,9	0,0
SS131	CARLO FELICE	597.965.762	5,3	8,9	0,2
SS195	SULCITANA	132.852.998	5,6	10,5	0,6
SS196	DI VILLACIDRO	120.631.564	12,9	24,7	2,0
SS196dir	DI VILLACIDRO	29.301.087	13,0	22,5	0,0
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI	187.409.746	7,0	13,4	0,5
SS198	DI SEUI E LANUSEI	26.869.470	8,9	11,2	0,0
SS293	DI GIBA	98.046.266	7,5	12,0	0,2
SS387	DEL GERREI	119.406.074	11,2	18,1	0,8
SS466	DI SIBIOLA	39.353.222	10,7	14,2	0,0
SS547	DI GUASILA	34.414.584	12,2	22,7	0,0
PROVINCIA DI SUD SARDEGNA		2.247.572.073	7,9	13,8	0,5
SS125var	NUOVA SS125	133.203.574	5,3	9,9	0,5
SS130	IGLESIENTE	213.002.175	14,7	29,1	0,3
SS130dir	IGLESIENTE	5.184.145	11,6	23,1	0,0
SS131	CARLO FELICE	169.162.860	9,6	16,2	0,5
SS131dir	CARLO FELICE	112.883.179	45,9	77,1	0,5
SS195	SULCITANA	296.034.277	14,7	23,9	0,7
SS195racc	VIA S. PAOLO	58.438.967	8,6	13,0	0,0
SS196	DI VILLACIDRO	15.504.423	7,7	16,8	0,0
SS387	DEL GERREI	67.157.370	8,0	16,4	0,9
SS391	DI ELMAS	7.627	13111,8	15734,2	0,0
SS554	CAGLIARITANA	283.689.518	14,3	23,5	0,6
CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI		1.354.268.114	13,0	22,9	0,8
TOTALE		8.304.381.140	10,0	17,1	0,5

Fonte: elaborazione META

Tabella 8. Tassi di incidentalità, lesività e mortalità sulla rete stradale – tutti i sinistri

I medesimi tassi possono essere determinati anche facendo riferimento ai soli sinistri che hanno coinvolto almeno un mezzo pesante, come indicato in **Tabella 9**. Emerge in questo caso una variabilità ancora maggiore, caratterizzata da picchi su diramazioni di importanti direttrici, quali la SS127bis e la SS129bis⁶, a fronte di valori minimi riscontrati sulla viabilità di maggior impiego, quale segnatamente la SS131 “Carlo Felice”.

COD	NOME STRADA	Pesanti*km / anno	n° incidenti per 100 Mvkm	persone coinvolte per 100 Mvkm	n° morti per 100 Mvkm
SS125	ORIENTALE SARDA	1.198.726	333,7	467,2	0,0
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	3.037.067	92,2	138,3	0,0
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	43.979	1364,3	1364,3	0,0
SS128bis	CENTRALE SARDA	243.678	82,1	164,2	82,1
SS131	CARLO FELICE	45.350.242	26,9	42,8	0,4
SS133	DI PALAU	93.408	642,3	1284,7	0,0
SS200	DELL'ANGLONA	493.671	283,6	567,2	0,0
SS291	DELLA NURRA	576.092	173,6	277,7	34,7
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	135.042	296,2	740,5	0,0
SS597	DI LOGUDORO	11.834.395	22,0	32,1	5,1
SS672	SASSARI - TEMPIO	2.657.636	45,2	82,8	0,0
SS729	SASSARI - OLBIA	7.505.514	8,0	18,7	0,0
PROVINCIA DI SASSARI		73.169.452	37,7	60,4	1,6
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	658.866	91,1	121,4	0,0
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	9.899	2020,4	4040,9	0,0
SS131	CARLO FELICE	59.858.967	11,0	18,7	1,0
SS292	NORD OCCIDENTALE SARD/	1.108.068	90,2	234,6	0,0
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROL	94.637	1056,7	1268,0	211,3
PROVINCIA DI ORISTANO		61.730.437	33,0	55,7	1,3
SS125	ORIENTALE SARDA	1.198.689	166,8	283,6	16,7
SS128	CENTRALE SARDA	22.814	876,6	876,6	0,0
SS129	TRASVERSALE SARDA	1.147.850	209,1	365,9	17,4
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	52.043	1537,2	3074,4	0,0
SS131	CARLO FELICE	20.023.418	6,0	10,0	0,0
SS198	DI SEUI E LANUSEI	233.333	257,1	514,3	0,0
SS295	DI ARITZO	25.972	770,0	770,0	0,0
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORRE	112.446	889,3	889,3	0,0
SS390	DI BARI SARDO	89.285	448,0	672,0	0,0
PROVINCIA DI NUORO		22.905.850	38,4	62,9	1,7
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	2.933.297	75,0	129,5	6,8
SS128	CENTRALE SARDA	1.185.938	67,5	202,4	0,0
SS130	IGLESIENTE	8.618.031	27,8	44,1	2,3
SS131	CARLO FELICE	45.170.815	16,4	23,5	1,3
SS195	SULCITANA	283.295	141,2	211,8	0,0
SS196	DI VILLACIDRO	6.390.725	40,7	81,4	3,1
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUM	971.903	102,9	288,1	0,0
SS198	DI SEUI E LANUSEI	114.361	174,9	174,9	0,0
SS293	DI GIBA	1.343.987	74,4	133,9	0,0
SS387	DEL GERREI	260.938	76,6	153,3	0,0
SS466	DI SIBIOLA	744.825	107,4	134,3	0,0
SS547	DI GUASILA	494.553	161,8	161,8	0,0
PROVINCIA DI SUD SARDEGNA		68.512.668	28,9	48,8	1,8
SS130	IGLESIENTE	4.597.605	100,1	152,3	0,0
SS131	CARLO FELICE	9.278.872	15,1	19,4	0,0
SS131dir	CARLO FELICE	1.942.329	72,1	154,5	0,0
SS195	SULCITANA	8.694.598	62,1	101,2	9,2
SS196	DI VILLACIDRO	581.011	34,4	68,8	0,0
SS387	DEL GERREI	692.421	57,8	57,8	0,0
SS391	DI ELMAS	7.627	2622,4	2622,4	0,0
SS554	CAGLIARITANA	6.568.200	103,5	194,9	0,0
CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI		32.362.662	61,2	103,2	3,7
TOTALE		258.681.070	33,2	55,1	1,7

Fonte: elaborazione META

Tabella 9. Tassi di incidentalità, lesività e mortalità sulla rete stradale – sinistri con veicoli pesanti

⁶ Nel considerare questi valori, occorre comunque tenere presente che la stima del volume di traffico pesante fa riferimento ai soli movimenti effettuati da veicoli *commerciali*, mentre esclude la simulazione di quelli effettuati da veicoli operativi (mezzi per manutenzione stradale, raccolta rifiuti, ecc...), non riconducibili alla matrice origine/destinazione, ma comunque tali da costituire presumibilmente una componente importante del flusso sulle arterie a minor traffico.

3.5 Calcolo del coefficiente di rischio per la Regione Sardegna

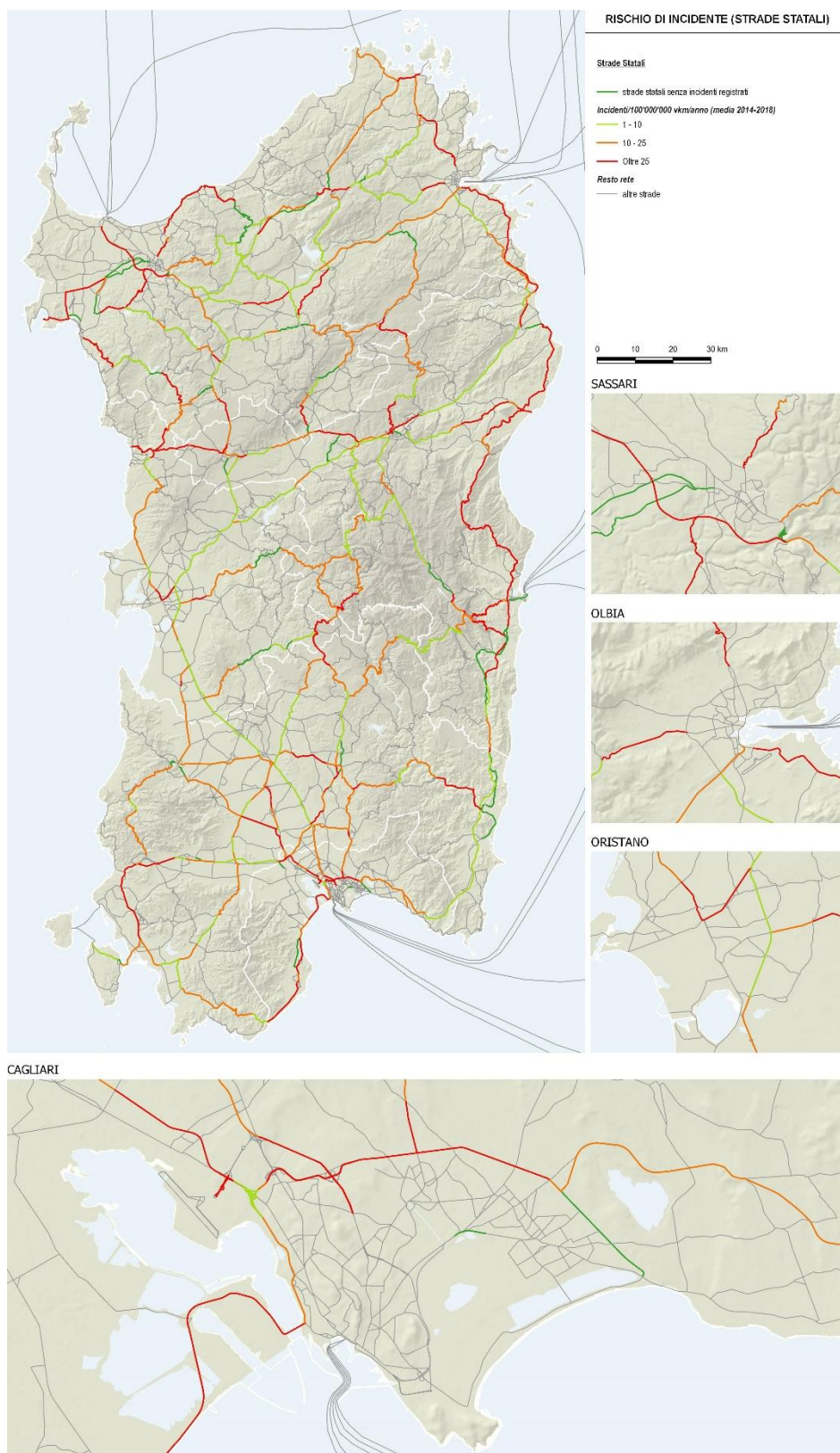
A partire dai dati descritti in precedenza, ed in particolare definito il modello di traffico da un lato che permette la ricostruzione delle percorrenze e il dato sull'incidentalità è stato possibile definire un coefficiente di rischio utile nella definizione dei potenziali percorsi indotti dalla distribuzione di GNL.

Come possibile osservare nell'immagine della pagina seguente per tutte le strade statali con incidenti è stato calcolato il coefficiente di rischio, poi rappresentato, per facilità di lettura, su tre classi:

- rischio basso: $1 < \text{coefficiente} < 10$ incidenti per 100 milioni di vkm/anno
- rischio medio: $10 < \text{coefficiente} < 25$
- rischio alto: coefficiente > 25

Dalla mappa emerge una distribuzione dei rischi diffusa su tutto il territorio. Se da un lato gli archi stradali di rischio medio-alto si concentrano presso i principali nodi urbani e lungo alcuni tratti di costa, dall'altra gli archi maggiormente frequentati, su tutti la SS131, risultano piuttosto sicuri.

Ciò è dovuto in buona parte agli standard di sicurezza della viabilità sovracomunale che pare in grado di sostenere agevolmente l'eventuale carico aggiuntivo di mezzi volti al rifornimento di GNL. Piuttosto pare necessario analizzare nel dettaglio il contesto di origine-destinazione del cosiddetto *ultimo miglio* che percorrendo archi stradali interni ai contesti urbani e/o archi stradali non statali (e pertanto non considerati nell'attività in oggetto), andrà definita con particolare attenzione.



Fonte: elaborazione META

Figura 17. Identificazione del coefficiente di rischio

4. Calcolo dell'indicatore di danno potenziale

4.1 Generalità

Oltre a considerare i tassi di incidentalità, cioè la probabilità che si verifichi un evento incidentale, la costruzione del coefficiente di rischio deve tener conto dei possibili danni associati all'evento: per esempio un conto è avere un incidente in una galleria con intenso traffico, diverso averlo in aperta campagna su strade con transiti ridotti; un conto l'incidente in ambito rurale, diverso in ambito urbano densamente abitato.

Per fare ciò, dati per assunti i punti precedenti, la procedura per 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**
- la **popolazione residente all'intorno dell'asse stradale**, potenzialmente esposta ai rischi del sinistro
- ulteriori elementi relativi alla **vulnerabilità ambientale** del contesto.

4.2 Persone presenti su altri veicoli in transito

La presenza di persone presenti su altri veicoli in transito è facilmente desumibile dalle stesse simulazioni di traffico: detta t_{inc} la durata di un evento incidentale, la probabilità che in tale intervallo di tempo si verifichi il transito di un altro veicolo è data semplicemente da.

$$p_{tr} = (F_A + F_R) \frac{t_{inc}}{T_{oss}}$$

dove F_A ed F_B sono i flussi di traffico stimati sull'arco (espressi ad esempio in veicoli/giorno), e T_{oss} il corrispondente tempo di osservazione (in questo caso, un giorno).

Il numero di persone potenzialmente transitanti sulla strada durante l'evento incidentale può essere così determinato moltiplicando la probabilità di transito per il coefficiente medio di occupazione dei veicoli.

Beninteso, questo modo di procedere consente di determinare la probabilità media giornaliera che nel corso dell'evento incidentale si manifesti il transito di un certo numero di persone. È possibile peraltro ipotizzare, da un lato, che i movimenti di autocisterne si verifichino in ore della giornata caratterizzate dalla minor presenza di traffico e, dall'altro, che efficaci sistemi di allarme consentano di limitare la durata critica dell'evento alle sole fasi precedenti l'avvio di tali sistemi, con conseguente possibilità di blocco della circolazione sull'asse stradale esaminato.

4.3 Popolazione esposta all'intorno dell'asse stradale

Ogni arco stradale ha nell'intorno di un certo buffer definito dei residenti e degli addetti che, in caso di incidente, potrebbero essere in parte interessati dagli effetti dello stesso.

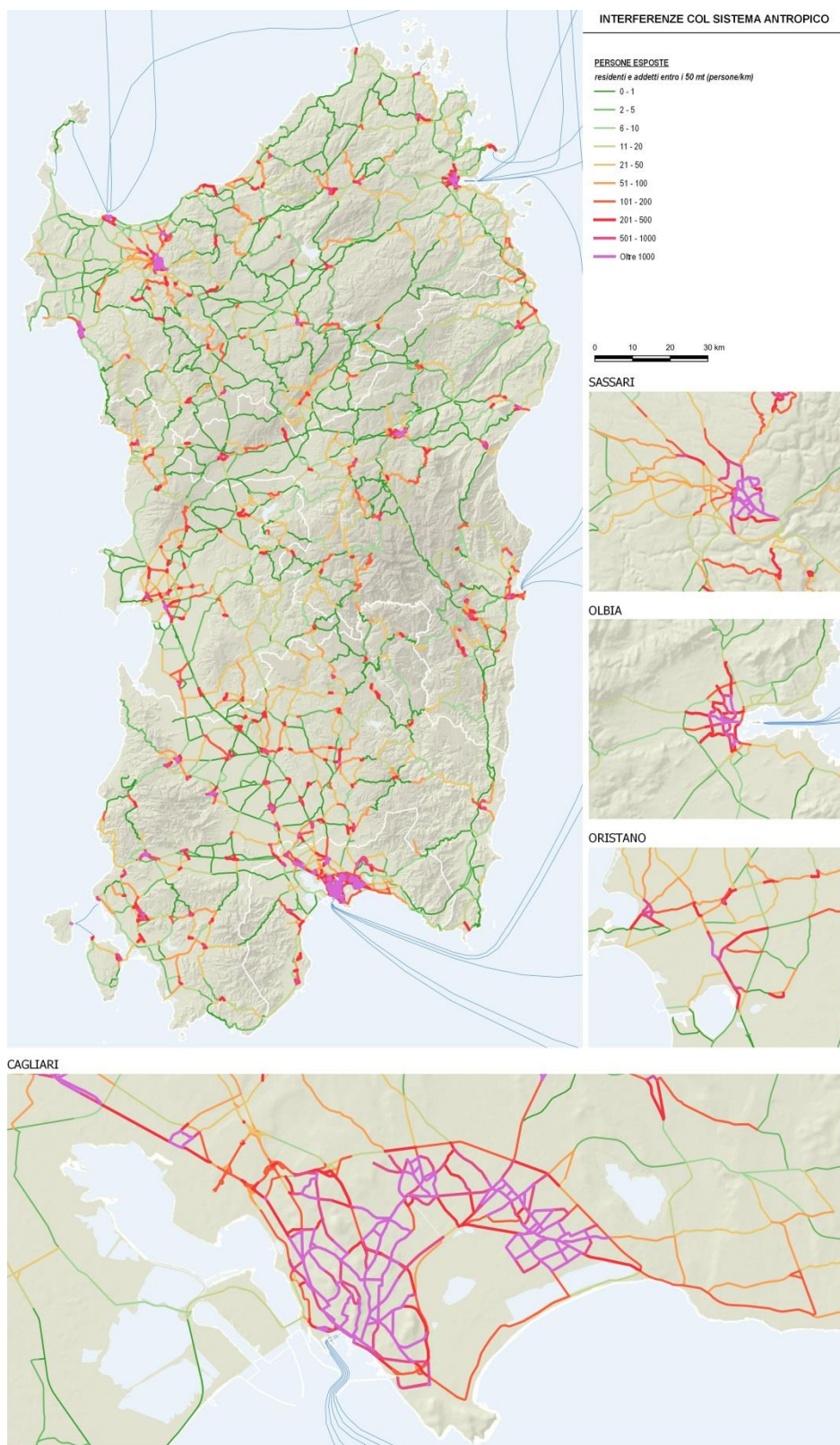
Senza entrare nel merito dei singoli casi specifici, si può fare riferimento a tutti quelli incidenti che possono generare una fuoriuscita di liquidi e/o gas che, a seconda dei casi possono propagarsi nell'aria per un certo numero di metri.

Si è pertanto definito un indicatore di popolazione esposta facendo riferimento alla presenza di residenti e addetti (dato ISTAT per sezione di censimento) in un buffer di 50 metri dall'arco stradale considerato definito a priori come valore di riferimento per una simulazione di massima.

Ciò permette, come definito dall'immagine seguente, di evidenziare gli archi stradali su cui è maggiore la popolazione esposta che, come ovvio, si concentrano soprattutto negli ambiti urbani delle principali città sarde.

Se da un lato la criticità dell'attraversamento dei centri urbani, in particolare per i mezzi che trasportano merci è cosa nota, non solamente per una questione di rischio reale, ma anche di rischio percepito, oltre che di influenza sul traffico locale, l'indicatore mette in luce come anche la rete principale, concentrata prevalentemente su infrastrutture extraurbane, attraversa alcune piccole concentrazioni di popolazione esposta, da considerare nello scenario di movimentazione del GNL.

Se da un lato non si registrano valori superiori alle 1000 persone esposte in contesti extraurbani, spesso si incontrano casi in cui, pur per brevi tratte, l'asse stradale vede la presenza superiore alle 500 persone nel *buffer* considerato a riferimento.



Fonte: elaborazione META

Figura 18. Identificazione della popolazione esposta

4.4 Elementi relativi alla vulnerabilità ambientale

Oltre all'esposizione delle persone è stata presa in considerazione anche l'esposizione dell'ambiente.

Per fare ciò si è considerato un fattore di vulnerabilità ambientale considerando territori vulnerabili quelli che quelli attraversati da archi stradali.

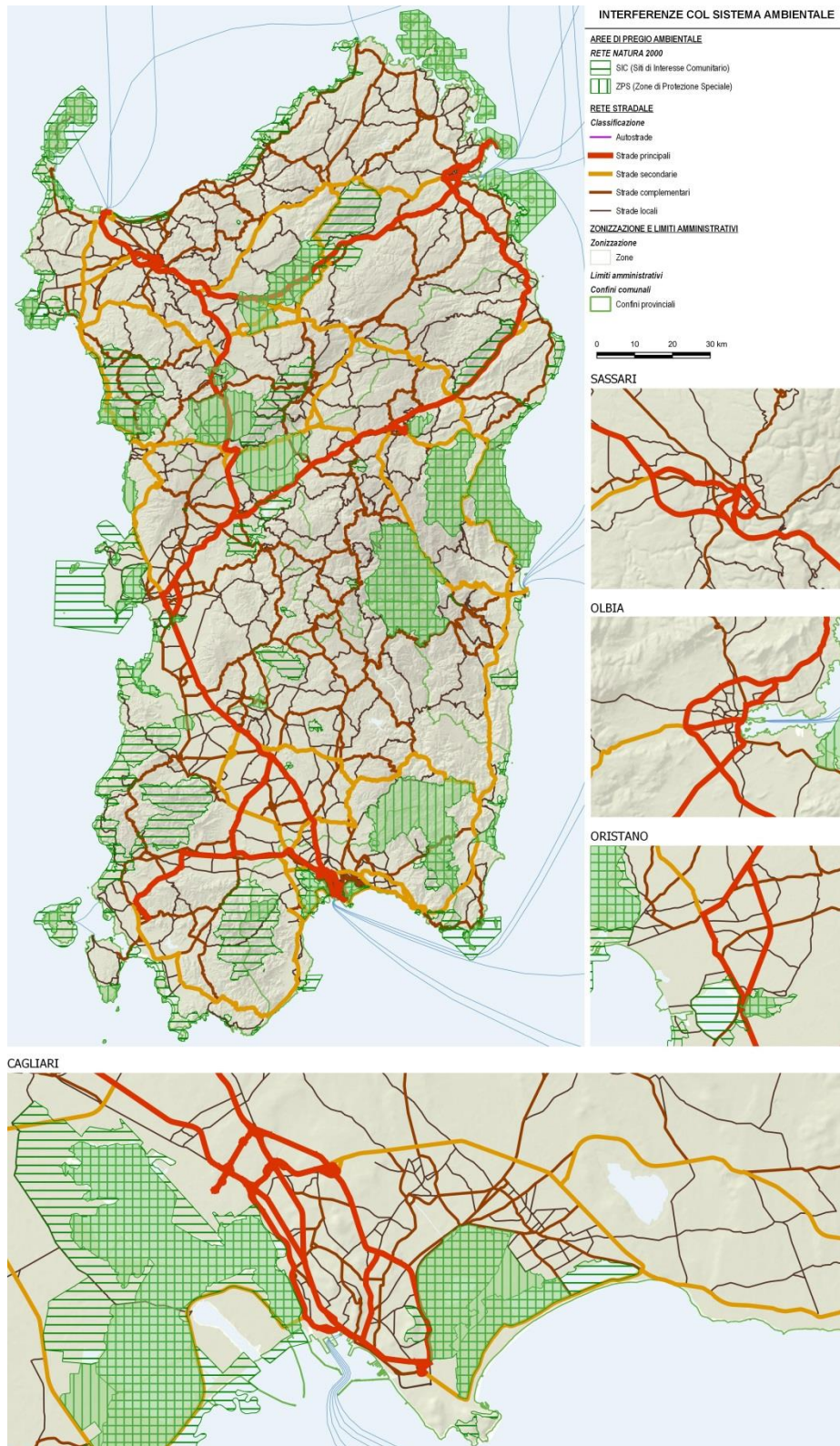
Tale indicatore presuppone una mappatura delle aree di valenza ambientali, in cui gli effetti di incidenti con propagazione di liquidi e/o gas potrebbero incidere sulle caratteristiche naturali dell'introno.

Fermo restando la possibilità di disporre di dati di maggior dettaglio, in prima battuta sono stati considerati i siti della rete Natura2000 quale sistema coordinato e coerente (una rete) di aree (siti di importanza comunitaria SIC e zone di protezione speciale ZPS) destinate alla conservazione della diversità biologica presente nel territorio dell'Unione Europea.

Come possibile osservare nell'immagine seguente, buona parte delle infrastrutture extraurbane si concentrano ovviamente al di fuori delle aree naturali. Ciò però non è valido per tutti i casi, infatti è possibile notare come anche alcuni dei principali assi viari attraversano aree protette di rilievo comunitario.

Ciò avviene in particolare in alcuni casi nel quadrante nord del territorio regionale dove i collegamenti ad alto scorrimento Sassari-Olbia, Nuoro-Olbia, Oristano-Sassari attraversano rispettivamente SIC e ZPS definiti.

Da segnalare anche alcune aree interessate all'uscita dai punti di origine del GNL presso il porto di Oristano.



Fonte: elaborazione META
 Figura 19. Identificazione della vulnerabilità ambientale

4.5 Riepilogo dei risultati

Un riepilogo dei risultati ottenuti, in termini di esposizione al rischio su ciascuna strada statale, è riportato nella Tabella 10.

Tali valori sono presentati in forma aggregata per provincia ed unità amministrativa di rete, ma vengono in realtà determinati a livello di singolo arco stradale, dando luogo ad una “mappa del danno potenziale” in caso di sinistro occorrente ad una autocisterna criogenica.

COD	NOME STRADA	flussi veicolari leggeri	interferenza siti Rete Natura 2000	popolazione esposta
		legg*km/ giorno	km	persone
NSA167	DI ITTIRI	3.928	0	49
NSA319	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	987	0	97
NSA325	SCALA RUIA - TEMPIO	21.781	0	3
SS125	ORIENTALE SARDA	137.729	0	3.386
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	156.539	0	4.331
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	3.379	0	311
SS128bis	CENTRALE SARDA	58.696	1	2.931
SS129	TRASVERSALE SARDA	108.725	0	0
SS131	CARLO FELICE	468.451	7	612
SS131bis	CARLO FELICE	72.508	0	131
SS131dir-centr	NUORESE	32.643	0	34
SS132	DI OZIERI	6.001	21	772
SS133	DI PALAU	52.417	0	613
SS133bis	DI PALAU	7.915	0	377
SS134	DI CASTEL SARDO	3.979	0	2.066
SS199	DI MONTI	38	0	166
SS200	DELL'ANGLONA	43.639	0	1.532
SS291	DELLA NURRA	32.184	0	67
SS291dir	DEL CALIK	2.878	1	24
SS291var	DELLA NURRA	84.398	0	221
SS291var-a	DELLA NURRA	44	0	5
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	179.182	13	872
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA	117.013	0	600
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	3.705	0	1.175
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	1.005	0	124
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS	1.016	10	512
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	3.755	0	1.598
SS597	DI LOGUDORO	35.418	24	20
SS672	SASSARI - TEMPIO	31.725	0	0
SS729	SASSARI - OLBIA	84.348	18	127
PROVINCIA DI SASSARI		1.756.028	96	22.755
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	52.587	0	1.363
SS128	CENTRALE SARDA	979	0	522
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	10.615	0	589
SS131	CARLO FELICE	303.557	1	213
SS131dir-centr	NUORESE	76.064	1	135
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	370.890	0	3.006
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	42.054	0	1.714
SS442	DI LACONI E DI URAS	28.916	0	811
PROVINCIA DI ORISTANO		885.661	2	8.352
EX SS125	ORIENTALE SARDA	193.362	0	1.632
EX SS131	CARLO FELICE	4.600	0	108
EX SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	108.854	0	580
SS125	ORIENTALE SARDA	225.238	5	4.068
SS125dir	ORIENTALE SARDA	47.795	0	2.199
SS125var	NUOVA SS125	19.481	0	50
SS128	CENTRALE SARDA	34.490	0	4.537
SS129	TRASVERSALE SARDA	495.515	14	1.795
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	52.929	0	261
SS131	CARLO FELICE	225.991	6	36
SS131dir-centr	NUORESE	287.857	2	295
SS198	DI SEUI E LANUSEI	80.089	0	2.975
SS295	DI ARITZO	75.609	0	1.566
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	303.694	0	419
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	671.341	0	628
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	11.273	0	1.145
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	25.131	17	8
SS390	DI BARI SARDO	1.779	0	1.873
SS537	DI GHILARZA	117	0	482
PROVINCIA DI NUORO		2.865.146	44	24.656
EX SS125	ORIENTALE SARDA	145.332	3	1.937
EX SS128	CENTRALE SARDA	108.797	0	1.281
SS125	ORIENTALE SARDA	225.237	0	0
SS125var	NUOVA SS125	24.204	1	17
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	774.418	10	3.593
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA	3.290	0	257
SS128	CENTRALE SARDA	1.276.624	0	1.814
SS130	IGLESIENTE	171.691	0	88
SS130dir	IGLESIENTE	435.932	0	1.078
SS131	CARLO FELICE	978.194	0	380
SS195	SULCITANA	393.754	0	2.706
SS196	DI VILLACIDRO	324.700	0	555
SS196dir	DI VILLACIDRO	160.395	0	2.883
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI	208.336	0	1.772
SS198	DI SEUI E LANUSEI	7.159	1	645
SS293	DI GIBA	172.488	1	1.740
SS387	DEL GERREI	754.316	5	1.702
SS466	DI SIBIOLA	69.787	0	29
SS547	DI GUASILA	50.843	0	2.000
PROVINCIA DI SUD SARDEGNA		6.285.496	21	24.476
EX SS554	CAGLIARITANA	58.148	0	361
N SS128	CENTRALE SARDA	19.490	0	92
NSA371	EX S.S. N. 125 ORIENTALE SARD/	267.097	0	15
SS125var	NUOVA SS125	415.350	4	8
SS130	IGLESIENTE	1.494.256	0	1.566
SS130dir	IGLESIENTE	9.095	0	41
SS131	CARLO FELICE	1.436.800	0	293
SS131dir	CARLO FELICE	3.484.798	0	934
SS195	SULCITANA	304.597	8	2.029
SS195racc	VIA S. PAOLO	1.134.829	0	530
SS196	DI VILLACIDRO	4.128.716	0	44
SS387	DEL GERREI	346.094	0	84
SS391	DI ELMAS	0	0	368
SS554	CAGLIARITANA	2.641.317	0	3.053
CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI		15.740.587	12	9.418
TOTALE		27.532.918	174	89.658

Fonte: elaborazione META

Tabella 10. Esposizione al rischio incidentale per strada

5. Identificazione dei percorsi a minor rischio

5.1 Minimizzazione del rischio ed itinerari stradali

L'identificazione degli itinerari a minor rischio deriva semplicemente:

- dalla combinazione, su ciascun arco stradale, dei fattori relativi alla probabilità incidentale e all'entità potenziale del danno in un unico coefficiente di rischio, che rappresenti il "costo sociale" determinato dal transito di un'autocisterna criogenica su quel medesimo arco
- dall'assegnazione dei corrispondenti flussi, dai punti di origine (sbarco del GNL) a quelli di destinazione (punti-rete), secondo i cammini di minimo costo sociale, associato al rischio incidentale, che potranno evidentemente differire da quelli ottimali dal punto di vista del costo di trasporto sostenuto dall'operatore.

Eventualmente, l'equilibrio potrà comunque essere determinato considerando e ponderando ulteriori fattori, quali il costo generalizzato di spostamento sulla rete.

L'equilibrio andrà però trovato anche considerando ulteriori fattori:

5.2 Calcolo dei coefficienti di rischio

Come già evidenziato nel precedente paragrafo 2, il coefficiente di rischio relativo a ciascun arco stradale viene ottenuto moltiplicando:

- la probabilità di un evento incidentale (espressa in termini di casi avversi per 100 milioni di veicoli pesanti-km sulla rete)
- il danno potenzialmente associato a tale evento (espresso come costo sociale delle *casualties* e dei danni ambientali potenzialmente indotti dall'evento).

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

5.3 Assegnazione alla rete

Il passaggio finale della procedura, che verrà illustrato nel report T3.5, consiste nell'effettiva identificazione degli itinerari di minor rischio, associati alla rete distributiva di progetto per il territorio sardo.

Tale identificazione assumerà come elemento di partenza la matrice O/D dei movimenti di approvvigionamento necessari a collegare le località di sbarco del GNL a ogni singolo punto-rete. Questa matrice verrà assegnata alla rete secondo un semplice algoritmo statico AON (*All-Or-Nothing*), basato sul costo sociale corrispondente al coefficiente di rischio.

L'insieme degli archi assegnati restituirà il quadro degli itinerari di minimo rischio sulla rete stradale sarda, in rapporto alla configurazione proposta per la rete di distribuzione GNL.

In rapporto a tale risultato, andranno comunque considerati ulteriori elementi, tra cui i due seguenti:

- la configurazione della rete stradale sarda, tale da non consentire facili alternative ad alcuni assi stradali che, soprattutto per il traffico pesante costituiscono l'unica alternativa facilmente percorribile
- l'identificazione, all'interno di ciascuna zona di traffico, delle scelte di itinerario di "ultimo miglio" che, di difficile definizione alla scala del presente approfondimento, andranno considerate in funzione delle decisioni prese in merito alla tipologia di distributori.

Bibliografia e sitografia

Borghetti F., Gandini P., Studer L., Todeschini V., Pastorelli G., 2015, Il SIIG per la mappatura del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose: applicazione in aree vulnerabili del contesto lombardo, Convegno ASITA 2015, 167-174, ISBN/ISSN: 978-88-941232-2-7

Gandini P., Borghetti F., Studer L., Iuliano R., Pastorelli G., 2015, Assessment of areas exposed to damage by dangerous goods transportation. Application of Analytic Hierarchy Process method for land covers weighting, IEEE - ITSC 2015 Smart Mobility for Safety and Sustainability, ISBN: 978-1-4673-6595-6.

Orso Giaccone M., Bratta F., Gandini P., Studer L., 2012, Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory, Chemical Engineering Transactions, vol. 26-2012, Cisap 5th International Conference on Safety & Environment in Process & Power Industry, ISSN: 1974-9791.

Studer L., Gandini P., Borghetti F., Maja R., Todeschini V., 2012, Improving knowledge of risk in Dangerous Goods Transport, XIX ITS World Congress, Vienna, Paper EU-00685.

Studer L., Gandini P., Iuliano R., Borghetti F., Marchionni G., - 2018, Road users exposed to Harm from Transportation of dangerous goods – definition and estimation, Chemical Engineering Transactions, 67, 757-762 DOI: 10.3303/CET1867127



LOTTO n°6: PIANO DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE E DI TRASPORTO DI GNL SUL TERRITORIO DELLA PROVENZA ALPES COTE D'AZUR REGIONE COTE D'AZUR

Progetto GNL SIGNAL



Fase IV - Analisi delle funzionalità della rete Prodotto T3.4.1

Mars 2020



Indice

Obiettivi	3
1 Banca dati dei flussi di trasporto GNL nella regione PACA	3
1.1 Matrice di origine e destinazione dei flussi di GNL nella regione PACA	3
1.2 Fonti utilizzate e ipotesi	6
1.3 I costi aggiuntivi del trasporto di GNL legati alla sicurezza	7
1.4 Altri impatti ambientali: il caso di Nox (ossidi di azoto)	8

Obiettivi

Realizzare una banca dati dei flussi di trasporto GNL attuali e delle loro caratteristiche specifiche (sulla base dei risultati della Fase 1)

1 Banca dati dei flussi di trasporto GNL nella regione PACA

1.1 Matrice di origine e destinazione dei flussi di GNL nella regione PACA

Cfr. pagina seguente

Origine	Paese di destinazione	Regione di destinazione	Metodo di trasporto	Distanza media (km)	Volume (tonnellate)	Asse di trasporto utilizzato punto di uscita dal territorio	Velocità media km/h (esclusi i prescritti periodi di riposo)	Numero di cisterne/anno	Frequenza media/mese	Capacità tecnica carico / scarico cisterna (m3/h)	Capacità reale carico cisterna al terminale (m3/h)	Capacità reale di scarico cisterna al punto di consegna (m3/h)	Capacità tecnica di distribuzione del carburante GNL (m3/h)	Capacità reale di distribuzione del carburante GNL (m3/h)	Consumo autocarro standard (in L di gasolio) per viaggio (A/R)	Consumo autocarro (in L di gasolio) anno	Costo medio di trasporto (in €) per viaggio (A/R)	Costo medio di trasporto (in k€) anno	Emissioni CO2 (in t) anno	Quota di consegne alle stazioni di servizio	Risparmio di CO2 Combustibile GNL rispetto al gasolio (in t/anno)
Fos-surMer	Francia	Alvernia Rodano Alpi	Strada	340	4080	Ovest - A154	60	215	18	80	34	43	9	4,5	218	46784	1020	219	124	40%	636
Fos-surMer	Francia	Alvernia Rodano Alpi	Strada	340	3380	Nord - A7	60	178	15	80	34	43	9	4,5	218	38733	1020	182	103	40%	527
Fos-surMer	Francia	Borgogna Francia Contea	Strada	440	1165	Nord - A7	70	61	5	80	34	43	9	4,5	282	17178	1320	81	45	55%	244
Fos-surMer	Francia	Bretagna	Strada	1170	44	Ovest - A154	75	2	0,2	80	34	43	9	4,5	749	1498	3510	7	4	0%	0
Fos-surMer	Francia	Centro della Valle della Loira	Strada	720	56	Nord - A7	70	3	0,3	80	34	43	9	4,5	461	1382	2160	6	4	0%	0
Fos-surMer	Francia	Hauts-deFrance	Strada	930	40	Nord - A7	70	2	0,2	80	34	43	9	4,5	595	1190	2790	6	3	100%	14
Fos-surMer	Francia	Ile-de-France	Strada	740	20	Nord - A7	70	1	0,1	80	34	43	9	4,5	474	474	2220	2	1	100%	7
Fos-surMer	Francia	Nuova Aquitania	Strada	730	64	Ovest - A154	70	3	0,3	80	34	43	9	4,5	467	1402	2190	7	4	0%	0
Fos-surMer	Francia	Occitania	Strada	230	8479	Ovest - A154	55	446	37	80	34	43	9	4,5	147	65651	690	308	174	4%	136
Fos-surMer	Francia	ProvenzaAlpi-Costa Azzurra	Strada	60	3052	Local	45	161	13	80	34	43	9	4,5	38	6182	180	29	16	50%	633
Fos-surMer	Italia	Abruzzo	Strada	1010	2200	Est - A8	65	116	10	80	34	43	9	4,5	646	74982	3030	351	198	65%	472
Fos-surMer	Italia	Campania	Strada	1120	3722	Est - A8	65	196	16	80	34	43	9	4,5	717	140493	3360	659	372	65%	775
Fos-surMer	Italia	Emilia Romagna	Strada	700	21264	Est - A8	65	1119	93	80	34	43	9	4,5	448	501312	2100	2350	1327	65%	4946
Fos-surMer	Italia	Lazio	Strada	920	6630	Est - A8	60	349	29	80	34	43	9	4,5	589	205491	2760	963	544	65%	1457
Fos-surMer	Italia	Lombardia	Strada	540	9068	Est - A8	60	477	40	80	34	43	9	4,5	346	164851	1620	773	436	65%	2193
Fos-surMer	Italia	Marche	Strada	920	7935	Est - A8	70	418	35	80	34	43	9	4,5	589	246118	2760	1154	651	65%	1744
Fos-surMer	Italia	Piemonte	Strada	400	12341	Est - A8	50	650	54	80	34	43	9	4,5	256	166400	1200	780	440	65%	3085

Fos-surMer	Italia	Toscana	Strada	660	4604	Est - A8	60	242	20	80	34	43	9	4,5	422	102221	1980	479	271	65%	1082
Fos-surMer	Italia	Trentino Alto Adige	Strada	750	4465	Est - A8	65	235	20	80	34	43	9	4,5	480	112800	2250	529	299	65%	1026
Fos-surMer	Italia	Umbria	Strada	800	4288	Est - A8	55	226	19	80	34	43	9	4,5	512	115712	2400	542	306	65%	972
Fos-surMer	Italia	Veneto	Strada	800	21089	Est - A8	65	1110	93	80	34	43	9	4,5	512	568320	2400	2664	1504	65%	4783
Fos-surMer	Slovenia	Slovenia	Strada	1000	750	Est - A8	65	39	3	80	34	43	9	4,5	640	24960	3000	117	66	65%	162

4

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
 La coopération au cœur de la Méditerranée

Fos-surMer	Svizzera	Ticino	Strada	670	360	Est - A8	60	19	1,6	80	34	43	9	4,5	429	8147	2010	38	22	65%	84
Fos-surMer	Macedonia	Macedonia	Strada	1980	200	Est - A8	65	11	0,9	80	34	43	9	4,5	1267	13939	5940	65	37	65%	31

5

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
 La coopération au cœur de la Méditerranée

1.2 Sources utilisées et hypothèses

Dati	Ipotesi / Commenti	Fonti
Origine	Fos Tonkin e Fos Cavaou non sono stati analizzati separatamente, essendo i due terminali geograficamente vicini, in modo da non appesantire la banca dati	Elengy ¹
Destinazione – Paese	Dati reali (dichiarazione dei trasportatori su strada)	Elengy
Destinazione - Regione ²	Dati reali (dichiarazione dei trasportatori su strada)	Elengy
Metodo di trasporto	Ad oggi, nella regione PACA, per il trasporto di GNL, viene utilizzata esclusivamente la strada	Elengy
Distanza media (km) (sola andata)	Distanza più rilevante tra la distanza dal capoluogo di regione e la distanza media dai punti di destinazione specifici individuati	Elengy, analisi See'Up
Volume (tonnellate)	Volumi reali (dati del terminale di GNL)	Elengy
Asse di trasporto utilizzato / punto di uscita dal territorio	Asse principale utilizzato per il trasporto delle merci tra Fos e il punto di uscita identificato del territorio	See'Up
Velocità media (esclusi i prescritti periodi di riposo) (km/h)	Velocità media per un determinato veicolo leggero (fonte: google maps), a cui è stato applicato un fattore di 1,5 per ottenere la velocità media di un camion	See'Up
Numero di cisterne / anno	Calcolato sulla base di un carico medio di 21 t per serbatoio	Elengy, analisi See'Up
Frequenza mensile	Numero annuale di serbatoi tra il terminale di GNL e la regione di destinazione	Analisi See'Up
Capacità tecnica di carico / scarico cisterna (m3/h)	Flusso consentito dalle strutture	Elengy
Capacità reale di carico cisterna al terminale (m3/h)	Flusso reale rilevato ai terminali (inclusi i tempi di attesa e i tempi di ingresso/uscita)	Elengy
Capacità reale di scarico cisterna al punto di consegna (m3/h)	Flusso effettivo stimato al punto di consegna (inclusi i tempi di attesa e i tempi di ingresso/uscita)	Previsione See'Up (nessun vincolo sul cantiere industriale-portuario, pertanto tempi più rapidi rispetto a quelli del terminale di GNL)
Capacità tecnica di distribuzione del carburante GNL (m3/h)	Flusso consentito dalle strutture	Incontro See'Up

¹ I dati forniti da Elengy sono del 2019

² Il livello di dettaglio per le destinazioni dei flussi di GNL nella regione PACA è a scala regionale. Non abbiamo scelto una rete più precisa onde rispettare l'anonimato dei clienti (in particolare per i flussi verso operatori privati diversi dalle stazioni di servizio).

Capacità reale di distribuzione del carburante GNL(m3/h)	Flusso effettivo stimato nel punto di distribuzione	Previsione / incontro See'Up in base al tempo medio trascorso alla pompa
Consumo autocarro standard (in L di gasolio) per viaggio (A/R)	Consumo medio di una cisterna 32 l/100km (caricata + vuota)	Comitato Nazionale Autostrade, sondaggio TRM 2018
Consumo automezzo pesante (in L di gasolio) / anno	Consumo per viaggio A/R x numero di cisterne / anno	See'Up
Costo medio del trasporto (in €) per viaggio A/R	Costo medio del trasporto di merci in cisterne (opinione del trasportatore su strada) : 1,5 €/km ³ .	Comitato Nazionale Autostrade (calcolatore dei costi)

	Si tratta di un costo medio: per le lunghe distanze, il costo è più alto (ore notturne, costo di un secondo autista o costo di una notte in albergo); per le brevi distanze, il costo è più basso. Nota: dal punto di vista del cliente, questo costo è più vicino a 3€/km perché il trasportatore vende al cliente un biglietto di sola andata, ma sostiene il costo di un viaggio di andata e ritorno.	
Costo medio del trasporto (in k€) / anno	Costo medio del trasporto andata e ritorno x numero di autocisterne / anno	See'Up
Emissioni di CO2 (in kg) / anno	Emissione di un veicolo con semirimorchio cisterna: 2,647 kg per litro di gasolio consumato	Futura-sciences.com (sulla base della reazione chimica della combustione del diesel)
Quota delle stazioni di servizio	Quota delle stazioni di servizio sul totale dei volumi di consegna di GNL nella regione interessata per ogni tipologia di cliente (industriale, in particolare agricolo)	Elengy, analisi See'Up
Risparmio di CO2 combustibile GNL rispetto al gasolio (in t)	Risparmio di CO2 combustibile GNL rispetto al gasolio (in t) Riduzione di CO2 generata dall'utilizzo di GNL distribuito dalle stazioni approvvigionate dai terminali di Fos; rispetto ad una situazione teorica in cui gli automezzi adibiti a GNL sono sostituiti da automezzi diesel. Ipotesi di calcolo: sulla base del consumo medio di autocarri a gasolio e di automezzi a GNL, 1 t di GNL equivale a 0,9 t di gasolio. Ipotesi di emissioni di CO2 da GNL: -15% calcolato «dal pozzo alla ruota».	Gaz-mobilite.fr Analisi See'Up

1.3 I costi aggiuntivi del trasporto di GNL legati alla sicurezza

L'obiettivo è quello di mettere in evidenza solo i costi associati al trasporto di GNL in particolare. Di fatto, il GNL, in quanto merce pericolosa, sostiene anche i costi specifici associati a questo tipo di merci.

³ Il costo medio settoriale nel 2018 è di 1.264 euro/km. Il costo del trasporto in autocisterna è infatti mediamente più alto del costo medio del settore, ma varia al ribasso per le distanze più lunghe e al rialzo per le distanze più brevi. Questi

Il trasporto di merci pericolose è disciplinato da due normative:

- ADR (Accordo europeo relativo al trasporto internazionale di Merci Pericolose su Strada). Il costo della formazione ADR è di circa 350€/conducente (Accordo Europeo attinente al trasporto internazionale delle Merci Pericolose su Strada).
- Il decreto TDG (Trasporto di Merci Pericolose), che include i termini dell'ADR nella normativa nazionale.

I costi di sicurezza specifici al trasporto di GNL possono essere suddivisi in due categorie:

- La formazione dei conducenti -
Gli impianti

I seguenti elementi sono ricavati dalla Convenzione "Sicurezza e buone prassi nel trasporto stradale di gas naturale liquefatto" pubblicata dall'AFG (Associazione Francese del Gas), aggiornata nel marzo 2019.

Formazione:

Ad oggi, la formazione dei conducenti per il carico e lo scarico del GNL è solitamente gratuita. In effetti, è considerata come un investimento per i distributori (gestori di terminali e stazioni) che diminuiscono di

risultati, altamente diversificati in base alla distanza percorsa, mostrano che l'uso esclusivo di un rapporto costo/chilometro può generare distorsioni nell'analisi della produttività di una data operazione (il che non è l'oggetto della presente analisi). Un semplice rapporto chilometrico non tiene conto delle specificità di ogni trasporto, di cui il tempo è la componente principale (tempo di attesa, congestione stradale, ecc.).

conseguenza il costo della non qualità e il costo degli incidenti evitati. La formazione dura da 4 ore a 1 giorno.

I conducenti sono chiamati a partecipare ad un aggiornamento formativo ogni 3 anni.

In particolare, la formazione prevede i seguenti elementi:

- Contesto, introduzione al GNL
- Il Prodotto Gas Naturale Liquido
- Procedura di carico
- Trasporto stradale
- Procedura di scarico
- Procedura di emergenza: rischi e comportamenti da adottare

Sono inoltre disponibili corsi di formazione più approfonditi sul GNL, in particolare sull'uso delle attrezzature antincendio, il cui costo si aggira intorno ai 1.000 euro per persona.

Attrezzature:

Oltre alle normali attrezzature per il trasporto di merci pericolose, sono necessarie le seguenti dotazioni:

- Veicoli:
 - o I serbatoi devono essere del tipo a doppia parete isolata mediante vuoto (costo di un nuovo serbatoio: 250 k€)
 - o Sistemi di sicurezza specifici (blocco di emergenza, otturazione, dispositivo antistrappo, dispositivo "uomo morto", raccordo specifico)
- Personale:

- Indossare i DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) imposti dalla normativa durante le operazioni di carico/scarico
- DPI specifici: casco dotato di visiera e sottogola, tuta di copertura antistatica, scarpe antistatiche di sicurezza, guanti protettivi criogenici.
- Esplosimetro portatile

1.4 Altri impatti ambientali: il caso di Nox (ossidi di azoto)

Oltre alle emissioni di gas ad effetto serra (CO₂), gli studi e i dati finora disponibili evidenziano le emissioni di NO_x dei motori a GNL, che sono tra i principali inquinanti del trasporto su strada.

In particolare, il progetto "Equilibre" evidenzia una forte riduzione degli NO_x da parte degli automezzi pesanti con motori a metano. A seconda del contesto del traffico di automezzi pesanti, le emissioni di NO_x degli autocarri alimentati a GNL sono dal 39% al 64% inferiori a quelle degli autocarri a gasolio (cfr. grafico sottostante).

Va notato che la quantificazione precisa degli effetti esterni legati all'uso di veicoli a GNL rispetto all'uso di veicoli diesel richiederebbe uno studio specifico dedicato (il quale non è materia di questo studio).

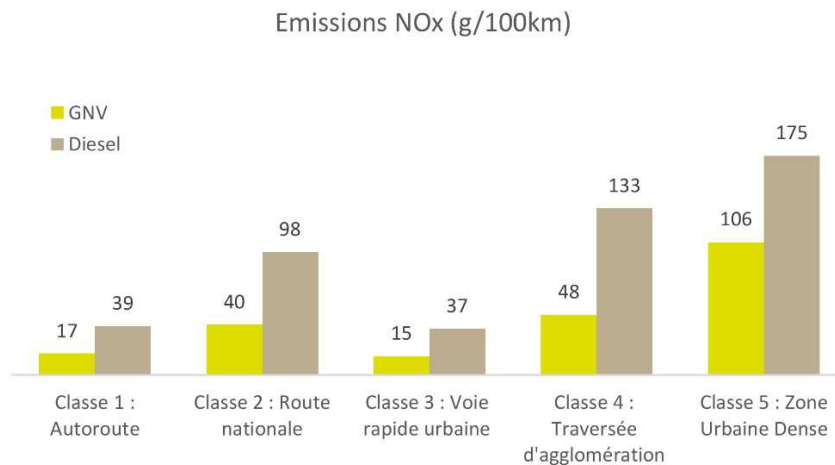


Grafico 1 - Emissioni di NO_x degli automezzi pesanti da 44 tonnellate (fonte: Projet Equilibre, 2018)