



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Con il contributo incondizionato di:



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 2: Ambito Urbano

Adeguamento di strade urbane per l'inclusione della mobilità leggera. Osservazione degli effetti sulla modifica dei comportamenti dell'utenza.

Marco Bassani

Professore ordinario in Progetto, Gestione e Sicurezza delle Infrastrutture Viarie



Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

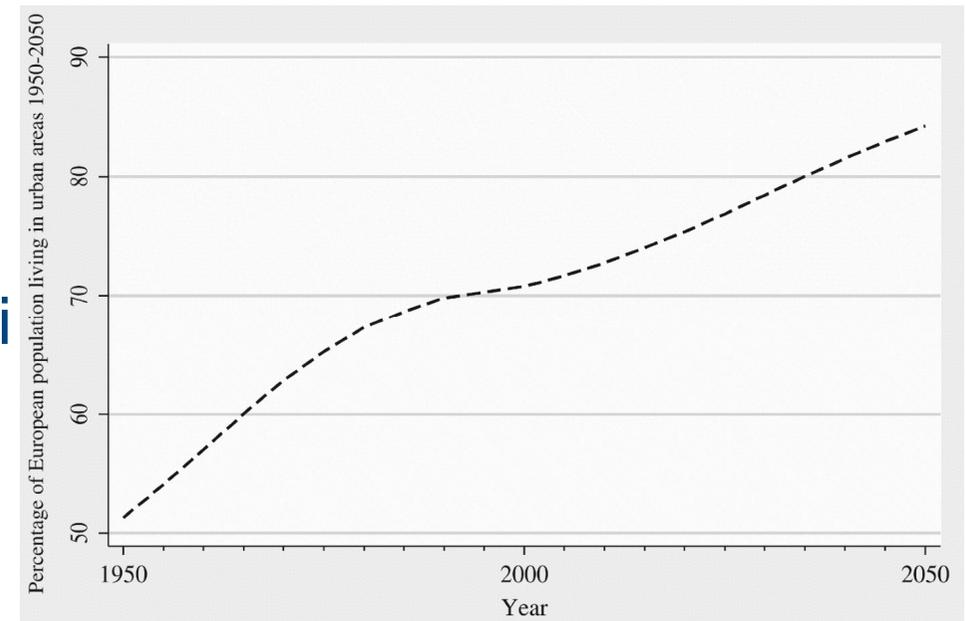


Contenuti della presentazione

- Considerazioni generali e introduttive
- Progettazione delle strade urbane: norme, esempi
- Il caso studio: via Nizza a Torino
- Risultati dell'indagine osservazionale
- Conclusioni
- Ringraziamenti

Considerazioni generali di contesto

- Costante crescita della popolazione europea che vive nelle aree urbane
- Progressiva introduzione di veicoli innovativi (e-bike, e-scooters, veicoli elettrici, elettrificati ed autonomi)



Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp, P. 2011. Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2): 65–82.

UN (2009) World urbanization prospects: the 2009 Revision.

Mobilità leggera (*)

- Utenti stradali che si muovono a velocità ridotta, spesso singolarmente (**), anche con mezzi di massa limitata:
- pedoni,
- biciclette (anche a pedalata assistita)
- monopattini e skateboard elettrici

Micromobilità (≤ 20 km/h)
+ Ciclomotori e motocicli

Utenti
vulnerabili

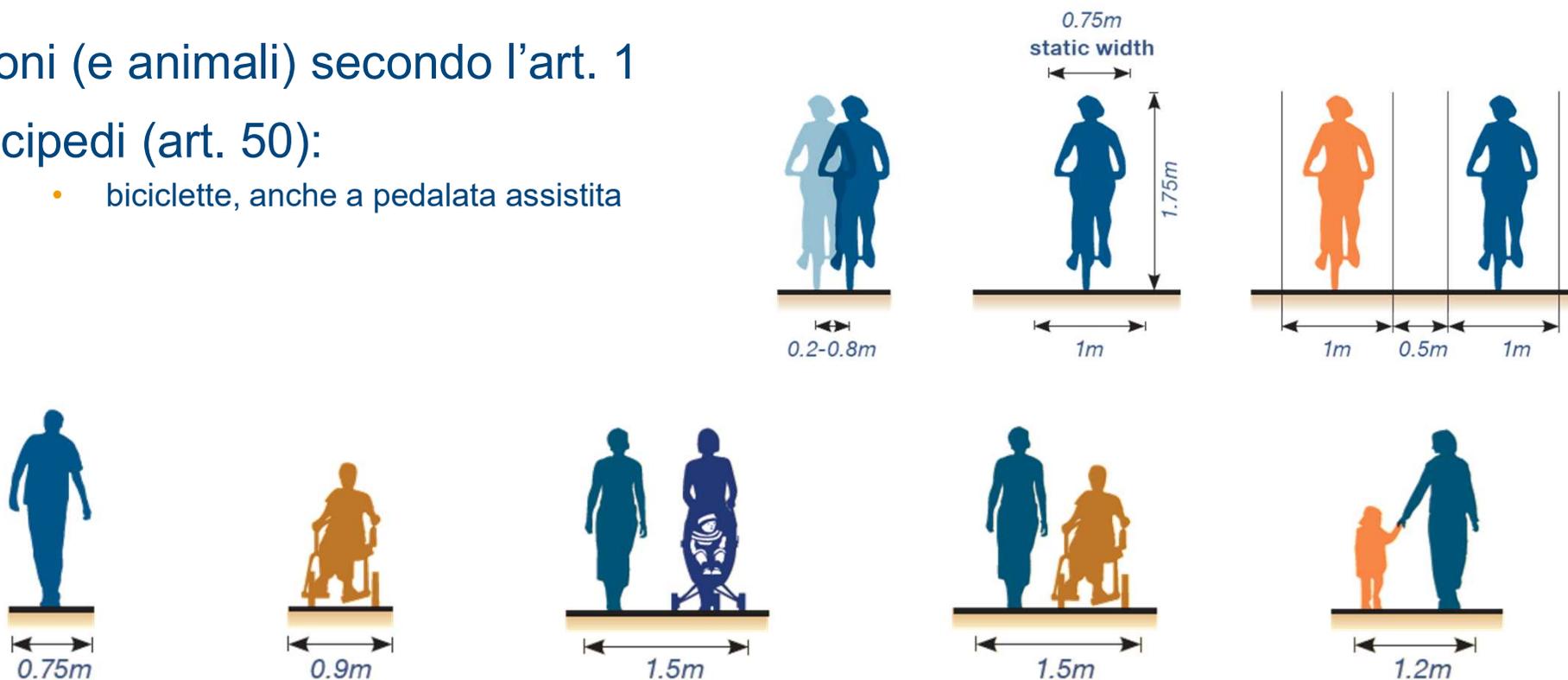
(*) rientra nella definizione di **mobilità sostenibile** poiché in grado di contenere le emissioni acustiche, gassose e gli impatti su traffico e sicurezza stradale rispetto ai veicoli privati.

(**) a esclusione dei tandem, i risciò e gli altri velocipedi che non superino i 1,30 m di larghezza, 3 m di lunghezza, 2,20 m di altezza.



Mobilità leggera secondo il CdS

- Pedoni (e animali) secondo l'art. 1
- Velocipedi (art. 50):
 - biciclette, anche a pedalata assistita



Mobilità leggera secondo il CdS

- Pedoni (e animali) secondo l'art. 1
- Velocipedi (art. 50):
 - biciclette, anche a pedalata assistita
 - monopattini a propulsione prevalentemente elettrica non dotati di posti a sedere (vedi slide successiva)



**Bicicletta
a pedalata assistita**



E-bike

I velocipedi sono i veicoli con due o più ruote funzionanti a propulsione esclusivamente muscolare, per mezzo di pedali o di analoghi dispositivi, azionati dalle persone che si trovano sul veicolo; sono altresì considerati velocipedi le biciclette a pedalata assistita, dotate di un motore ausiliario elettrico avente potenza nominale continua massima di **0,25 KW** la cui alimentazione è progressivamente ridotta ed infine interrotta quando il veicolo raggiunge i **20 km/h** o prima se il ciclista smette di pedalare. I velocipedi a pedalata assistita possono essere dotati di un pulsante che permetta di attivare il motore anche a pedali fermi, purché con questa modalità il veicolo non superi i **6 km/h**.

Sistemi per micromobilità

- Art. 1, comma 75, L. 27 dicembre 2019, n. 160° s.m.i. ha disposto che:

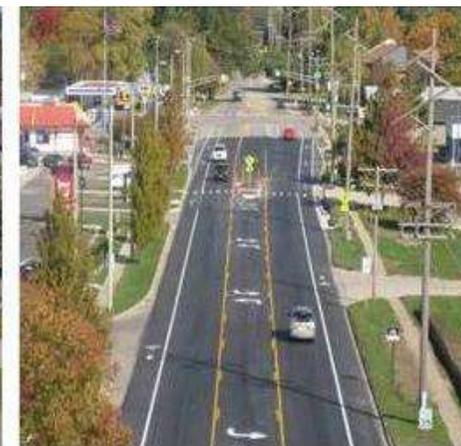
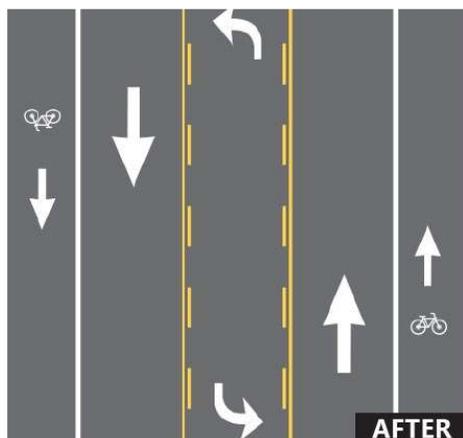
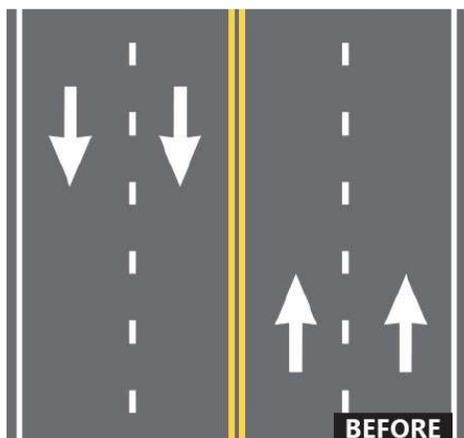
..., sono considerati velocipedi, ai sensi dell'articolo 50 del CdS (DL 30 aprile 1992, n. 285), anche al di fuori degli ambiti territoriali della sperimentazione, i monopattini a propulsione prevalentemente elettrica non dotati di posti a sedere, aventi motore elettrico di potenza nominale continua non superiore a **0,50 kW**, rispondenti agli altri requisiti tecnici e costruttivi indicati nel decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 4 giugno 2019, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 12 luglio 2019, e caratterizzati dai componenti elencati nell'allegato 1 al medesimo decreto.



Iniziative internazionali

■ Road Diet:

- “... removing travel lanes from a roadway ...” (Knapp et al., 2014)
- riduzione della frequenza incidentale (CRF) del 47%
- <https://highways.dot.gov/safety/proven-safety-countermeasures/road-diets-roadway-configuration>



Iniziative internazionali

■ Complete Streets:

- “... reduce congestion and facilitate movement for all user categories” (Chen et al., 2013)
- sicurezza stradale
- sostenibilità ambientale
- accessibilità
- equità sociale
- <https://highways.dot.gov/complete-streets>



Sadik-Khan, J. (2012). *Urban street design guide*.
New York: NACTO.

Iniziative e programmi locali

- Le amministrazioni pubbliche locali stanno attuando interventi di ammodernamento delle strade coerenti con i programmi nazionali/europei al fine di:
 - sviluppare corridoi urbani multiutente
 - promuovere la mobilità sostenibile
 - migliorare la sicurezza



Iniziative e programmi nazionali



■ PON Metro 2014-2020

- migliorare la mobilità cittadina privata, pubblica e delle marci con sistemi informatici intelligenti;
- ampliare e migliorare la mobilità “lenta”, attraverso la creazione di nuove piste ciclabili.

■ PON Metro React - EU

- mobilità sostenibile,
- mobilità lenta (ciclabile e pedonale),
- ... (altre iniziative)

<https://www.agenziacoesione.gov.it/pon/pon-metro/>

<http://www.ponmetro.it/2021/08/13/react-eu-assegnate-al-pon-metro-nuove-risorse-per-oltre-un-miliardo-di-euro/>



Recenti aggiornamenti del CdS

- E-bis. Strada urbana ciclabile:

strada urbana a unica carreggiata, con banchine pavimentate e marciapiedi, con limite di velocità non superiore a **30 km/h**, definita da apposita segnaletica verticale ed orizzontale, con priorità per i velocipedisti.

- F-bis. Itinerario ciclopedonale:

strada locale, urbana, extraurbana o vicinale, destinata prevalentemente alla percorrenza pedonale e ciclabile e caratterizzata da una sicurezza intrinseca a tutela dell'utenza (vulnerabile) della strada.

D.M. 6792/2001 - Categorie di traffico e sede stradale

	TIPI SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	CATEGORIE DI TRAFFICO													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
				PEDONI	ANIMALI	VEICOLI A BRACCIA E A TRAZIONE ANIMALE	VELOCIPEDI	CICLOMOTORI	AUTOVETTURE	AUTOBUS	AUTOCARRI	AUTOTRENI AUTOARTICOLATI	MACCHINE OPERATRICI	VEICOLI SU ROTAIA	SOSTA DI EMERGENZA	SOSTA	ACCESSI PRIVATI DIRETTI
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	1	1	1	1	○	○	3	○	○
			STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	5	5	1	1-7	1	1	1	1	1	1	○	1/5-3	4	8
		URBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	1	1	1	1	○	○	3	○	○
			STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	6	5	1	1-7	1	1	1-2	1	1	1	1-2-4	1/5-3	4	8
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	1	1	1	1	○	○	1/5	4	○
			STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	5	5	1	1-7	1	1	1	1	1	1	○	1/5	4	8
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO		5	1/5	1	1-7	1	1	1	1	1	1-2	1/5	4	8	
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	STRADA PRINCIPALE	6	○	○	7	1	1	1	1	1	○	1/5	○	○	
			STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	6	1/5	1	1-7	1	1	1-2	1	1	1	1-2-4	1/5	4	8
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO		6	1	1	1-7	1	1	1-2	1	1	1	1-2-4	1/5	4	8
LOCALE	F	EXTRAURBANO		5	1	1	1-7	1	1	1	1	1	○	1/5	4	8	
		URBANO		6	1	1	1-7	1	1	1-2	1	○	1	1-2-4	1/5	4	8

1) CORSIA
2) CORSIA RISERVATA
3) CORSIA DI EMERGENZA

4) IN APPOSITI SPAZI
5) BANCHINA
6) MARCIAPIEDE

7) PISTA CICLABILE
8) PASSI CARRABILI
1/5 IN BANCHINA PER QUANTO POSSIBILE

○ COMPONENTE DI TRAFFICO NON AMMESSA

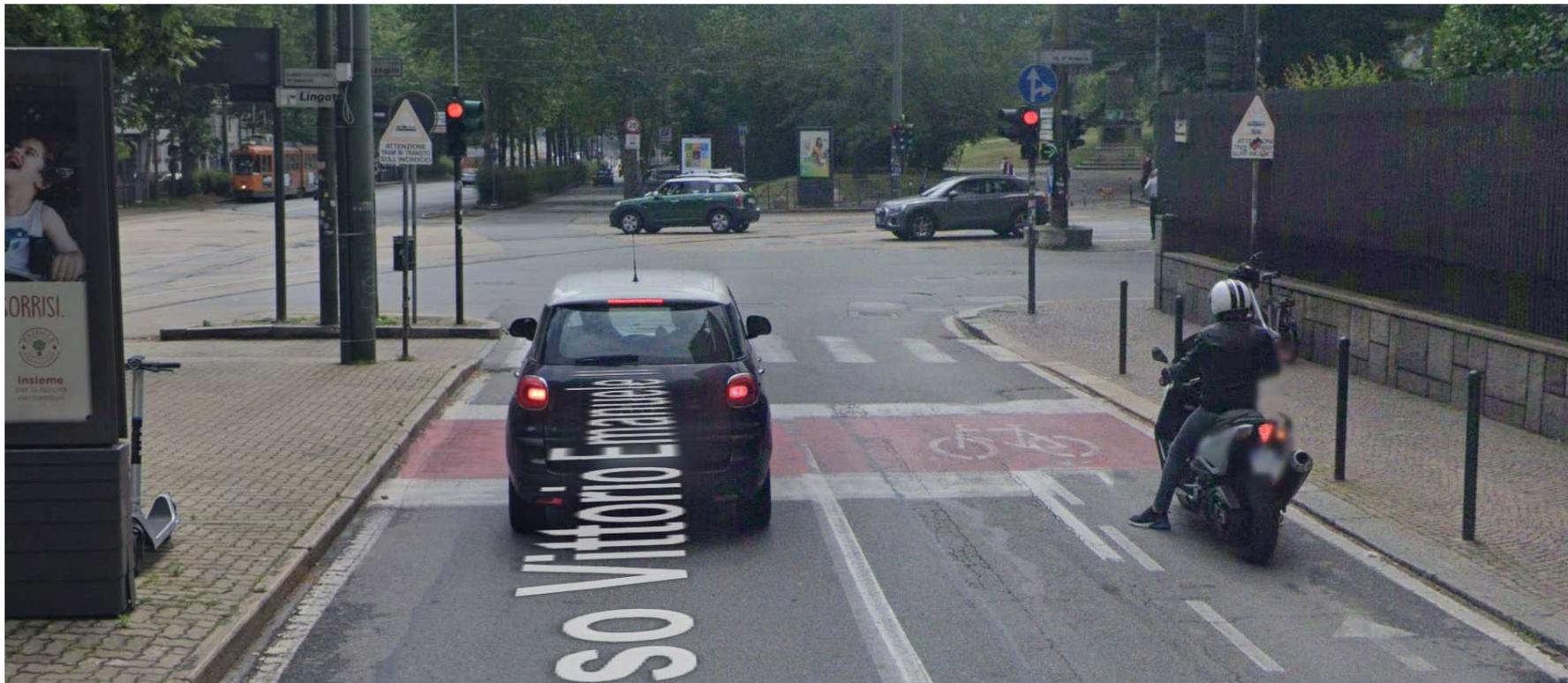
Recenti aggiornamenti del CdS

Nelle intersezioni semaforizzate, sulla base di apposita ordinanza adottata ai sensi dell'articolo 7, comma 1, previa valutazione delle condizioni di sicurezza, sulla soglia dell'intersezione può essere realizzata la **casa avanzata**, estesa a tutta la larghezza della carreggiata o della semicarreggiata. La casa avanzata può essere realizzata lungo le strade con velocità consentita inferiore o uguale a 50 km/h, anche se fornite di più corsie per senso di marcia, ed è posta a una distanza pari almeno a 3 metri rispetto alla linea di arresto stabilita per il flusso veicolare. (L'area delimitata è accessibile attraverso una corsia o da una pista ciclabile di lunghezza pari almeno a 5 metri, situata sul lato destro in prossimità dell'intersezione).

Art. 182 CdS

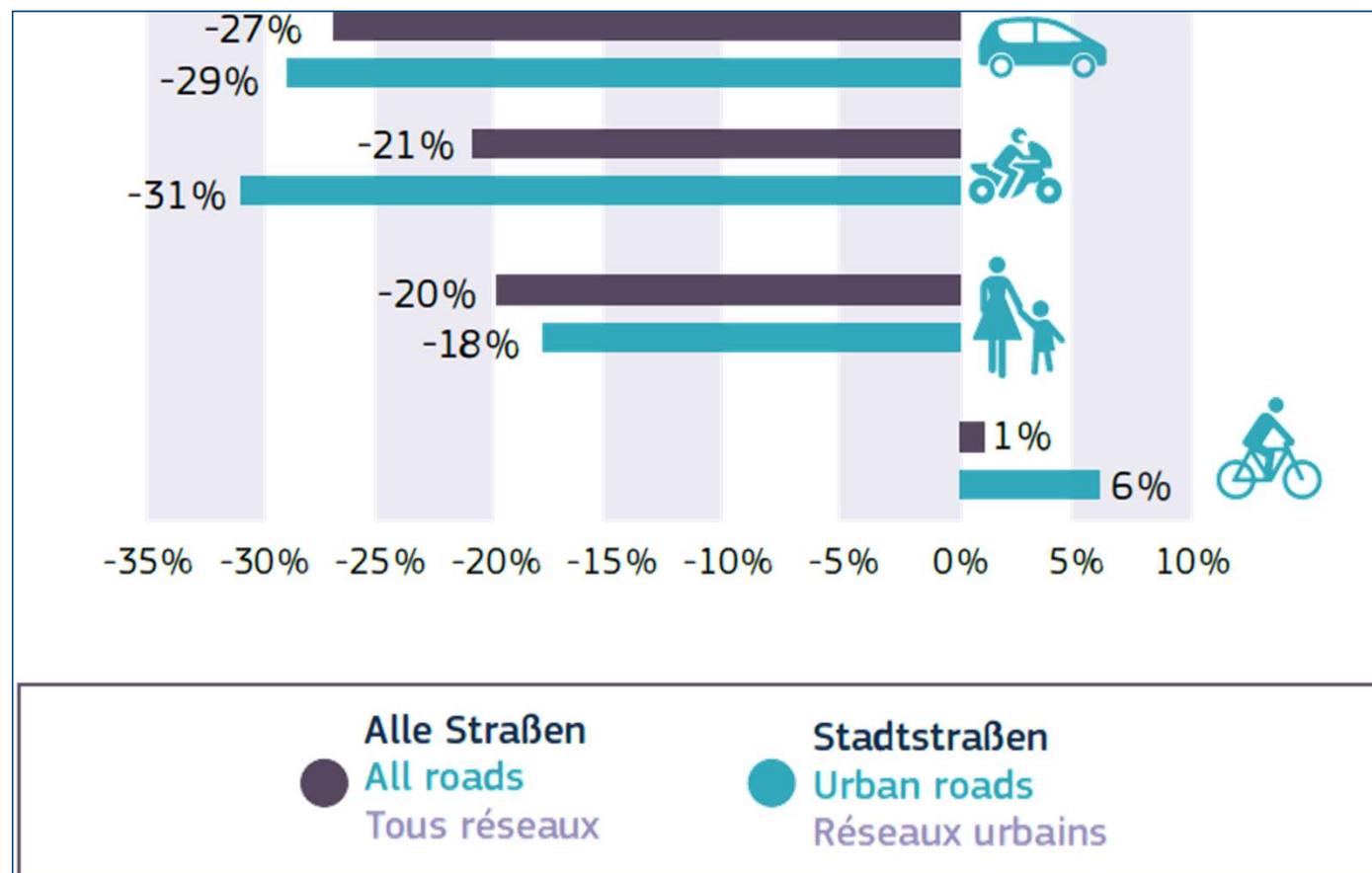


Corso Vittorio Emanuele II angolo corso Massimo D'Azeglio (Torino)



Sicurezza

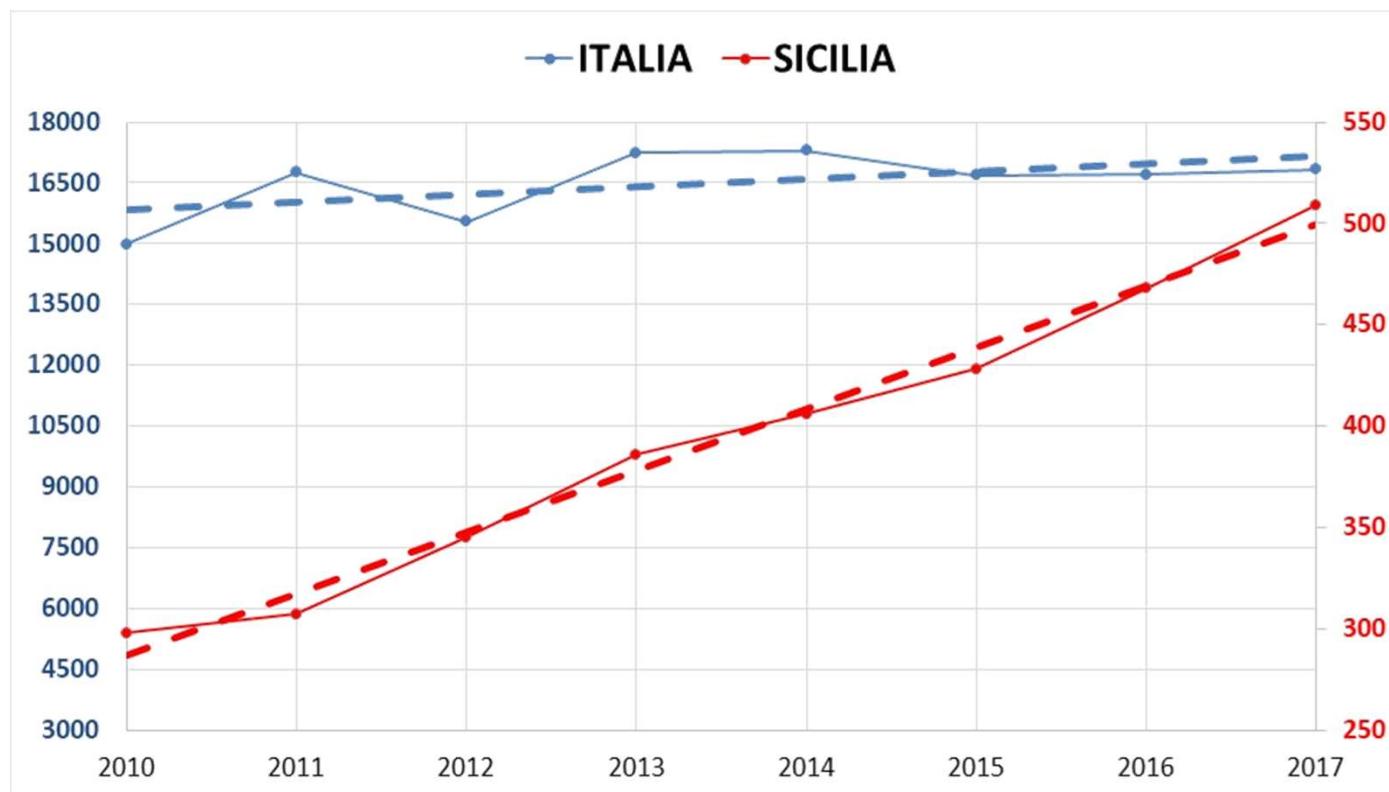
- Trend nei decessi su strada distinti per mezzo di trasporto in Europa (variazione 2010-2018)



Fonte: EU Commission Road Safety – Key figures 2020
<http://ec.europa.eu/roadsafety/>

Sicurezza

- Trend degli incidenti che vedono coinvolti i velocipedi in Italia (2010-2017)



Iniziative e programmi locali

- Il contesto nel quale le amministrazioni operano è complesso poiché:
 - le attuali norme di progettazione (DM. 2001 e 2006) sono orientate alla progettazione di nuove strade
 - il DM 67-S del 2004 prevedeva l'emanazione di nuove norme per l'ammodernamento delle strade esistenti che non sono mai state emanate
 - vi è carenza di riferimenti (buone pratiche, casi studio) e conoscenze per supportare meglio le decisioni progettuali sulle strade urbane esistenti



Recenti orientamenti

- Stabilire obiettivi prediligendo un approccio prestazionale con indicatori misurabili
- Quantificare l'efficacia degli interventi attraverso il confronto prima-dopo
- Verificare a posteriori la qualità degli interventi e definire (eventuali) misure compensative

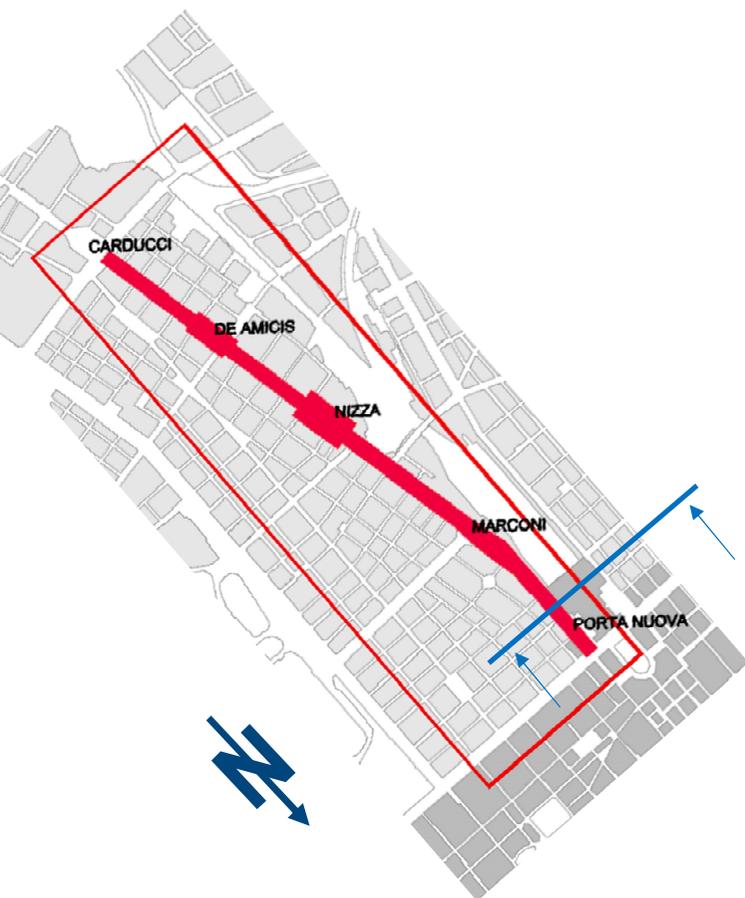


Caso studio

- Via Nizza (quartiere San Salvario), Torino, Italia
- Importo lavori: 2.350.000 € su fondi PON Metro 2014-2020
- Strada urbana di quartiere (cat. E) prossima al centro storico, costruita nella seconda metà del XIX secolo
- Obiettivi dello studio: misurare e confrontare prima/dopo i comportamenti dei guidatori conseguenti l'ammodernamento della sede stradale in un'ottica di sostenibilità
- Accordo tra Amministrazione di Torino e Laboratorio RSDS @ PoliTO

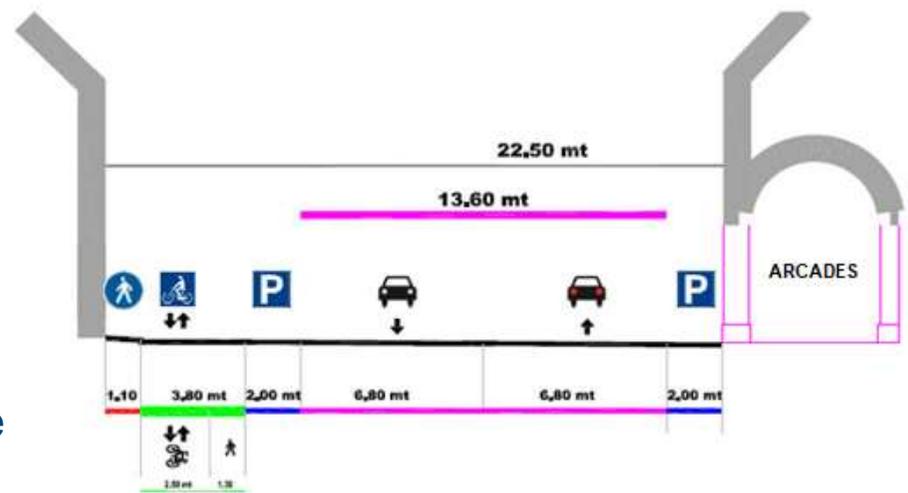


Trasformazione di via Nizza



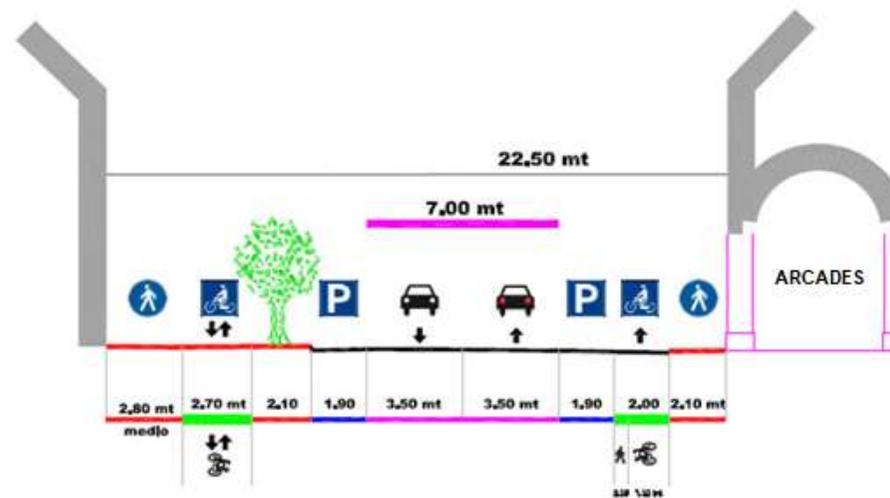
Prima (< 2019)

- 78% carreggiata
- 11% marciapiedi
- 11% pista ciclabile

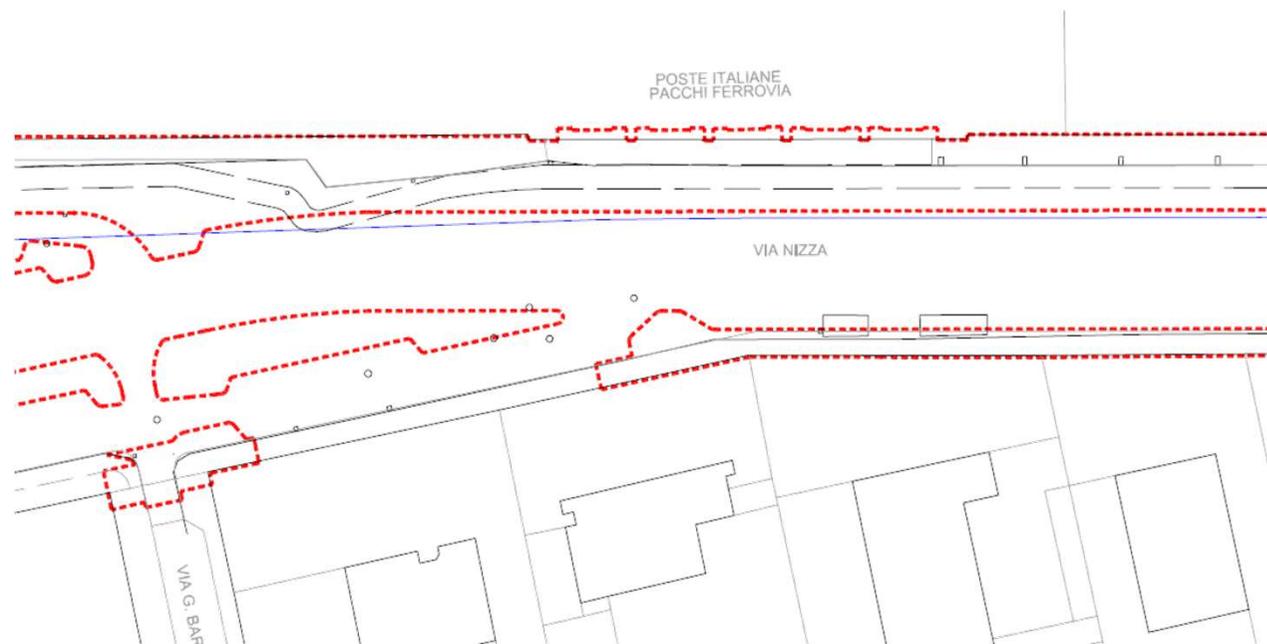
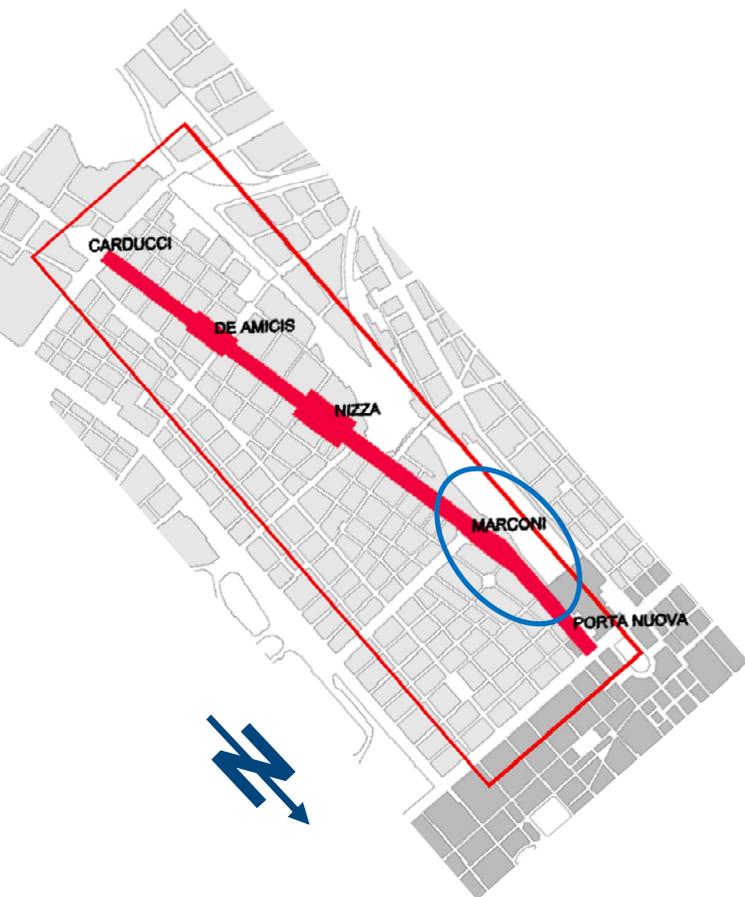


Dopo (≥ 2019)

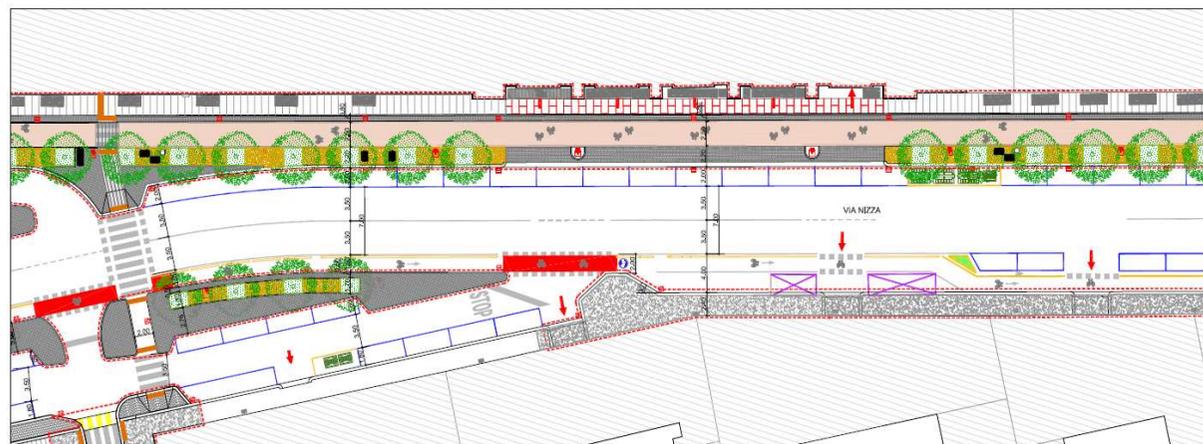
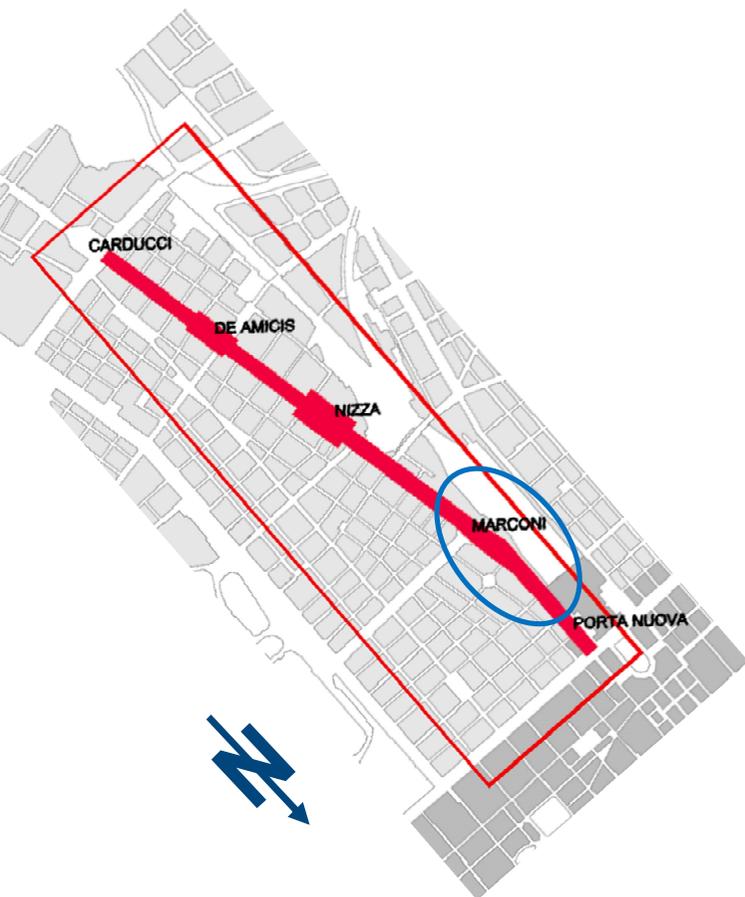
- 48% carreggiate
- 31% marciapiedi
- 21% piste ciclabili



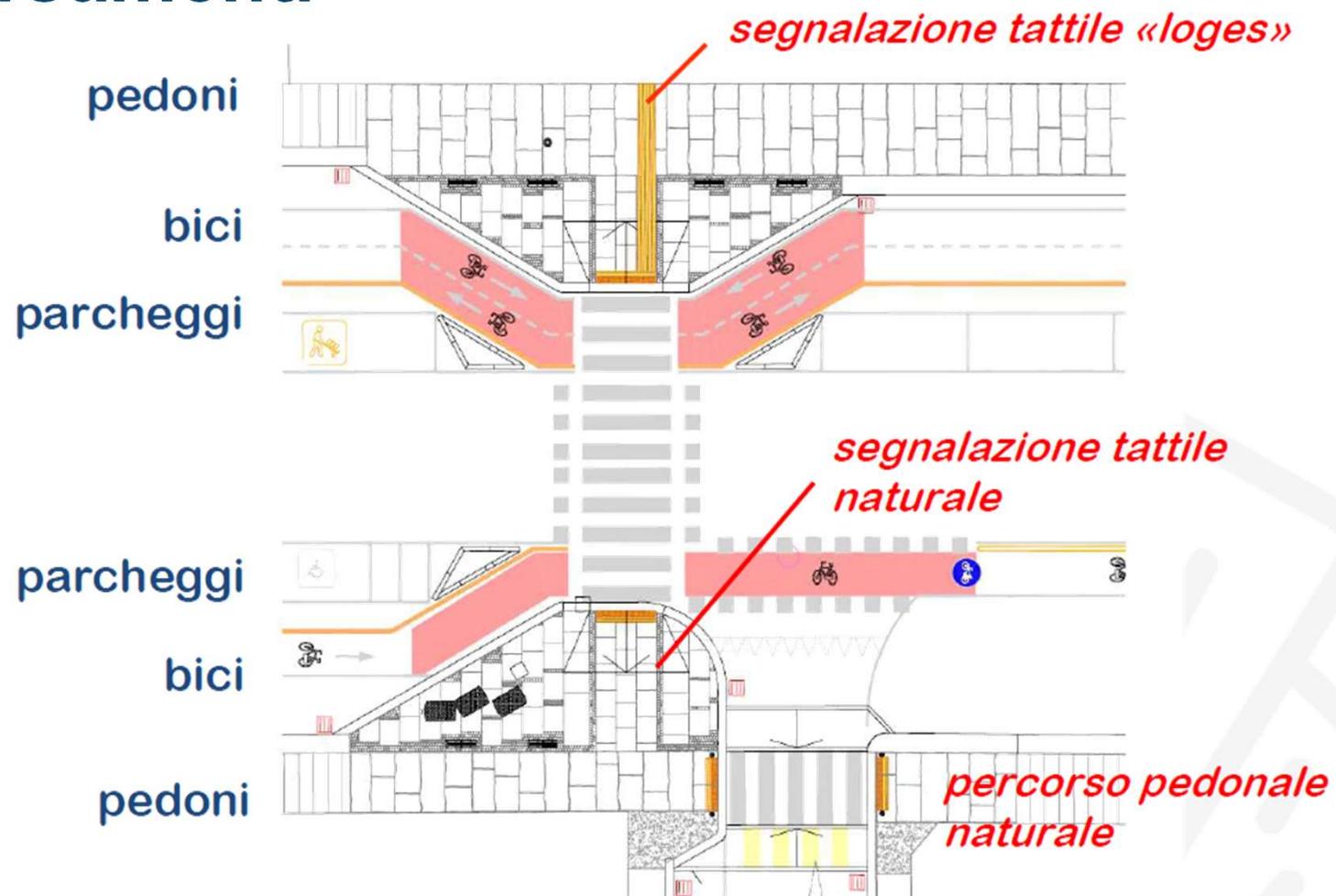
via Nizza (< 2019)



Progetto di via Nizza



Nuovi attraversamenti



Studio osservazionale

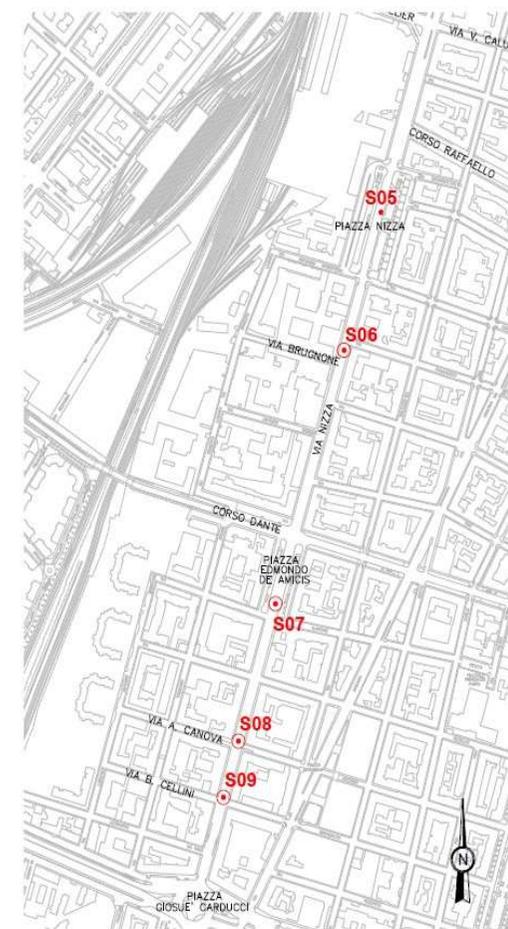
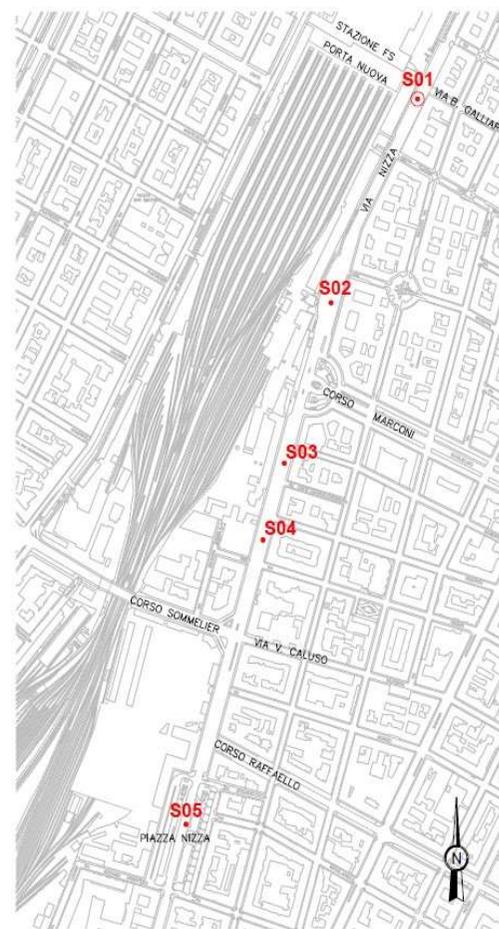
- Acquisizione di filmati da cui derivare dati comportamentali dei guidatori
- Rilievi:
 - 13 siti (86 punti georeferenziati con sistema GNSS Leica 1230)
 - 12 diversi giorni della settimana (7 prima, 5 dopo)
 - 64 video (16,5 ore di registrazione)
 - In collaborazione con:



Garmin VIRB

Studio osservazionale

- Acquisizione di filmati da cui derivare dati **comportamentali dei guidatori**
- Rilievi:
 - 13 siti (86 punti georeferenziati con sistema GNSS Leica 1230)
 - 12 diversi giorni della settimana (7 prima, 5 dopo)
 - 64 video (16,5 ore di registrazione)
 - In collaborazione con:



- Sezioni analizzate solo prima dell'intervento
- ◉ Sezioni analizzate prima e dopo l'intervento

Analisi delle immagini

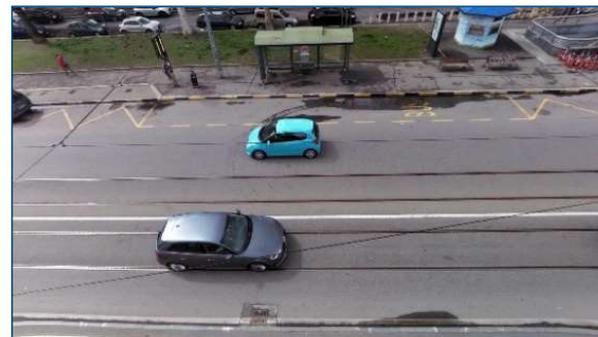
- Analisi delle immagini tramite:
 - Codice proprietario Matlab
 - Kinovea (per la validazione dei dati)



Acquisizione



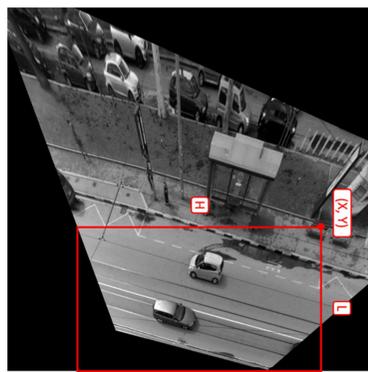
Estrazione delle immagini



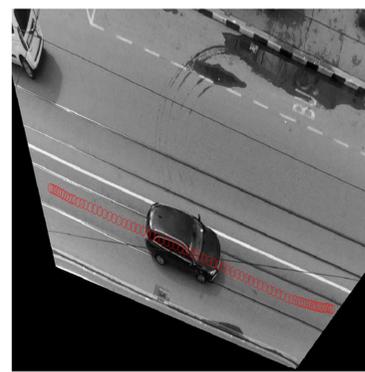
Controdistorzione



Rettifica



Taglio dell'immagine



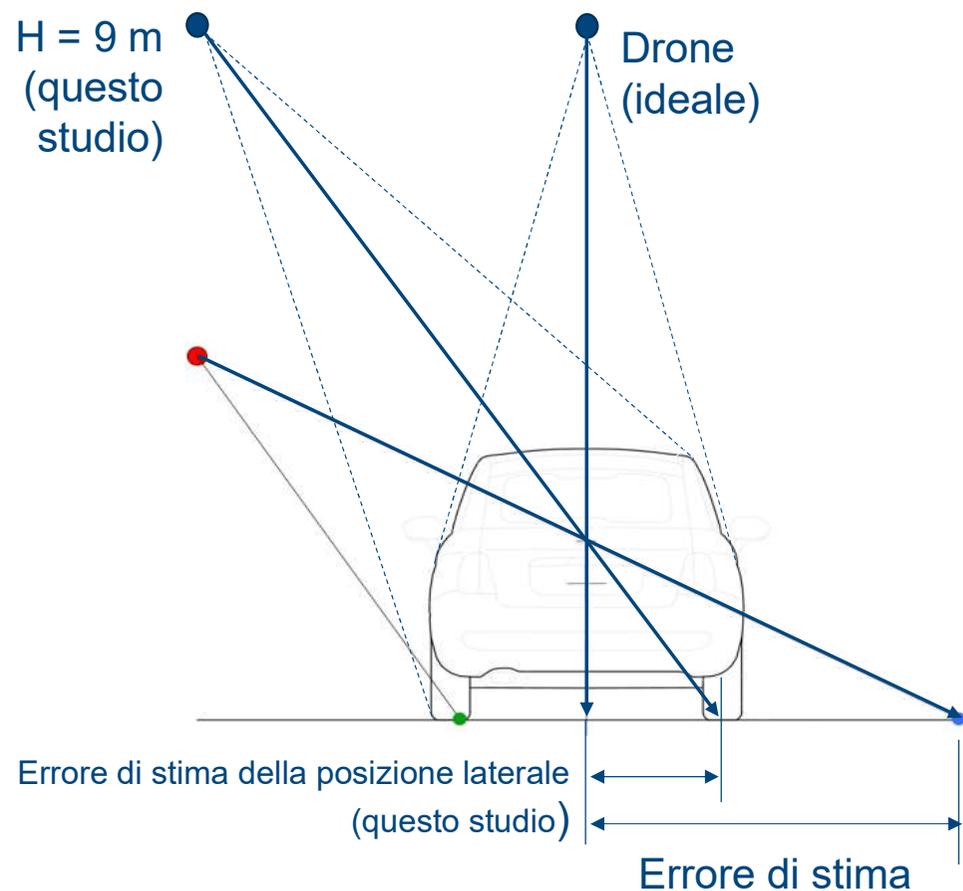
Ricostruzione della
traiettoria spazio-temporale

ID [-]	X [pixel]	Y [pixel]	Frame [-]	Area [pixel]
7	396	1163	296	14077
7	398	1156	297	16916
7	400	1149	298	19661
7	402	1142	299	22202
7	405	1133	300	24608
7	408	1123	301	26907
7	411	1116	302	29240
7	414	1107	303	31381
7	418	1097	304	33719
7	420	1088	305	35960
7	422	1079	306	38255
7	427	1065	307	38857
7	430	1052	308	40190
7	433	1039	309	41433
7	438	1022	310	41476
7	443	1005	311	41361
7	447	988	312	41613
7	453	971	313	41563
7	458	954	314	41610
7	463	937	315	41516
7	468	920	316	41703
7	473	901	317	41194
7	477	885	318	41519
7	482	868	319	41650
7	486	852	320	41969
7	491	834	321	41899
7	496	818	322	41831
.....

Estrazione dei dati

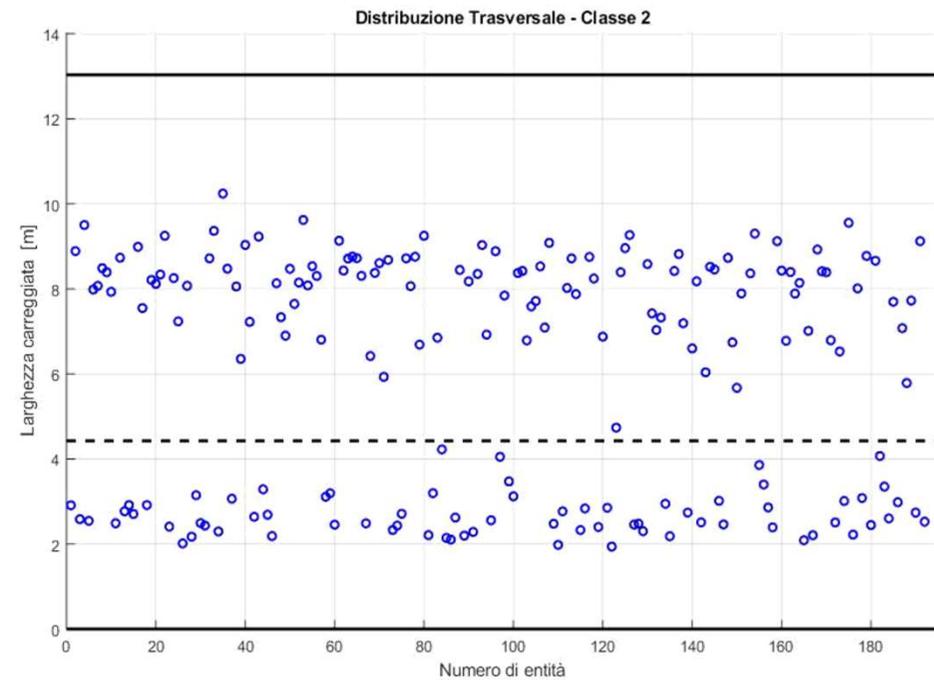
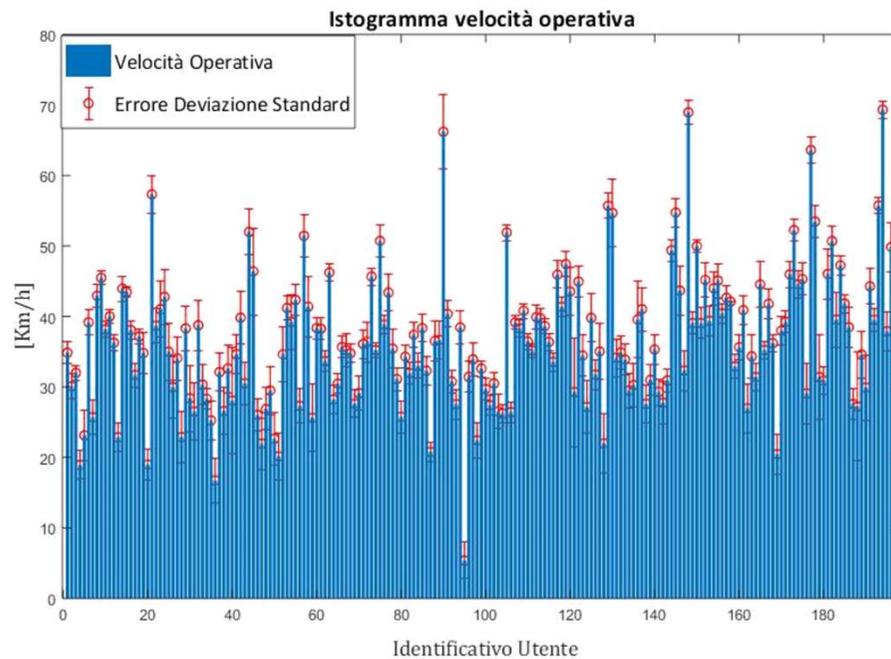
Analisi delle immagini

- Analisi delle immagini tramite:
 - Codice proprietario Matlab
 - Kinovea (per la validazione dei dati)
- Correzione dell'errore di prospettiva
- Raccolta dei soli dati in condizioni di flusso libero, escludendo dati condizionati da:
 - rallentamenti a intersezioni per precedenza e/o semaforo rosso
 - presenza di veicoli vicini (gap > 5 s)
 - presenza di pedoni/ciclisti negli attraversamenti



Acquisizione dati

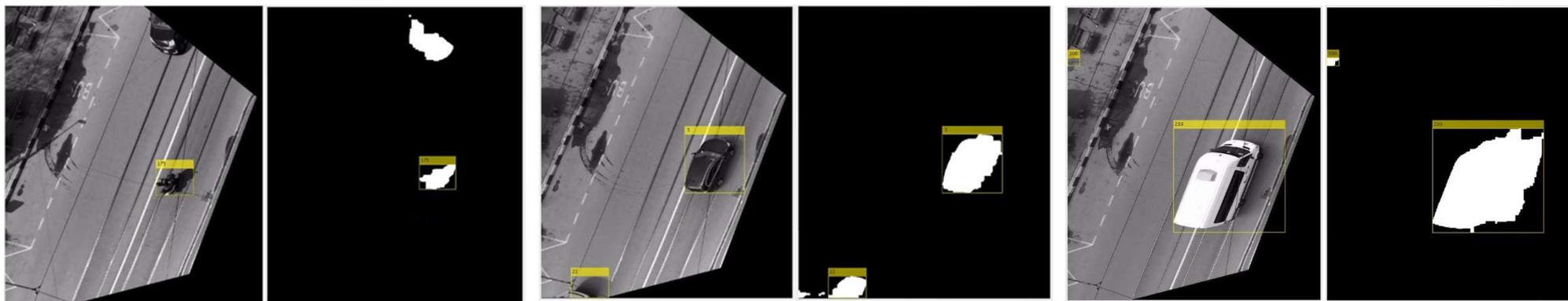
- Estrazione dei dati di:
 - velocità
 - posizione laterale (distanza dal centro corsia, con correzione)



Acquisizione dati

- Estrazione dei dati di:
 - classificazione

	Analisi visive operatore		Riconoscimento automatico		Scarto
	n		n		%
Totale	269		223		82,90
Classe	n	%	n	%	%
1	21	7,81	16	7,17	-0,63
2	232	86,25	193	86,55	0,30
3	16	5,95	14	6,28	0,33

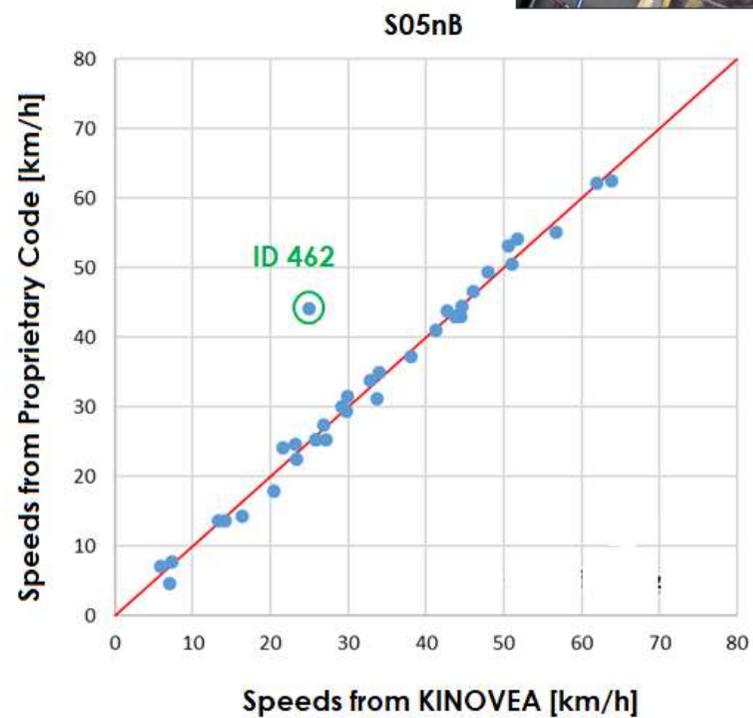
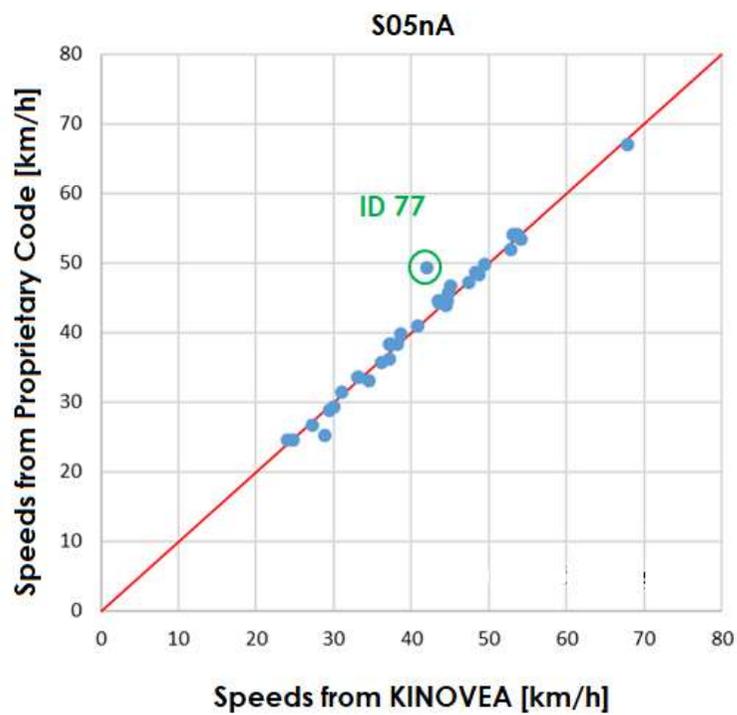


Classe 1
Ciclisti

Classe 2
Autovetture

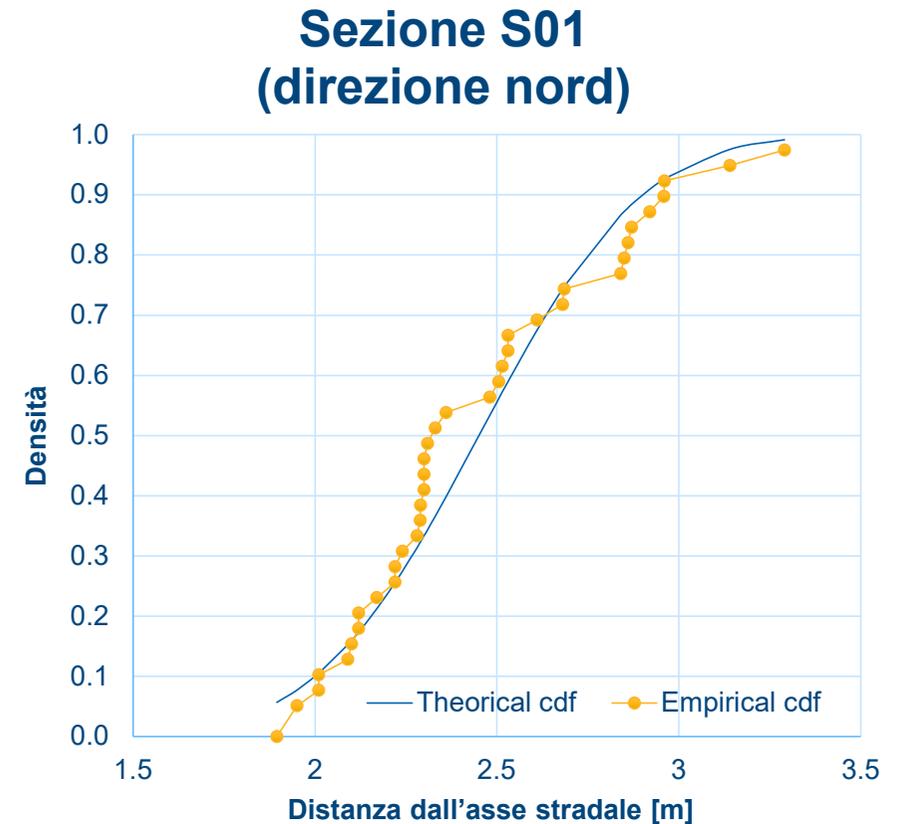
Classe 3
Veicoli pesanti

Validazione dei dati



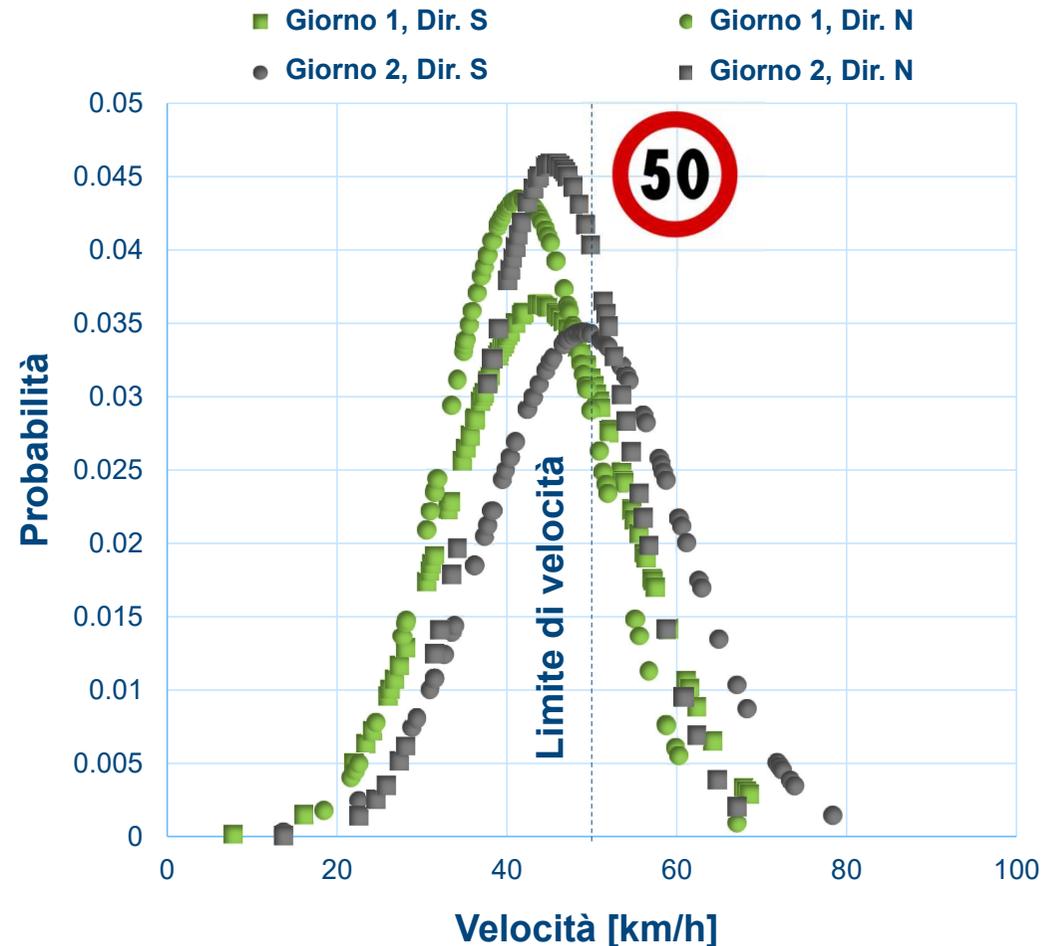
Distribuzione statistica dei dati

- Test di normalità di Kolmogorov-Smirnov (livello di significatività = 5%)
- Numero di test eseguiti:
 - 68 periodo prima
 - 64 periodo dopo
- Tutti i dati analizzati (velocità e distanza dall'asse carreggiata) sono risultati essere normalmente distribuiti indipendentemente dal momento dell'acquisizione, del giorno, della direzione di marcia e della sezione considerata.



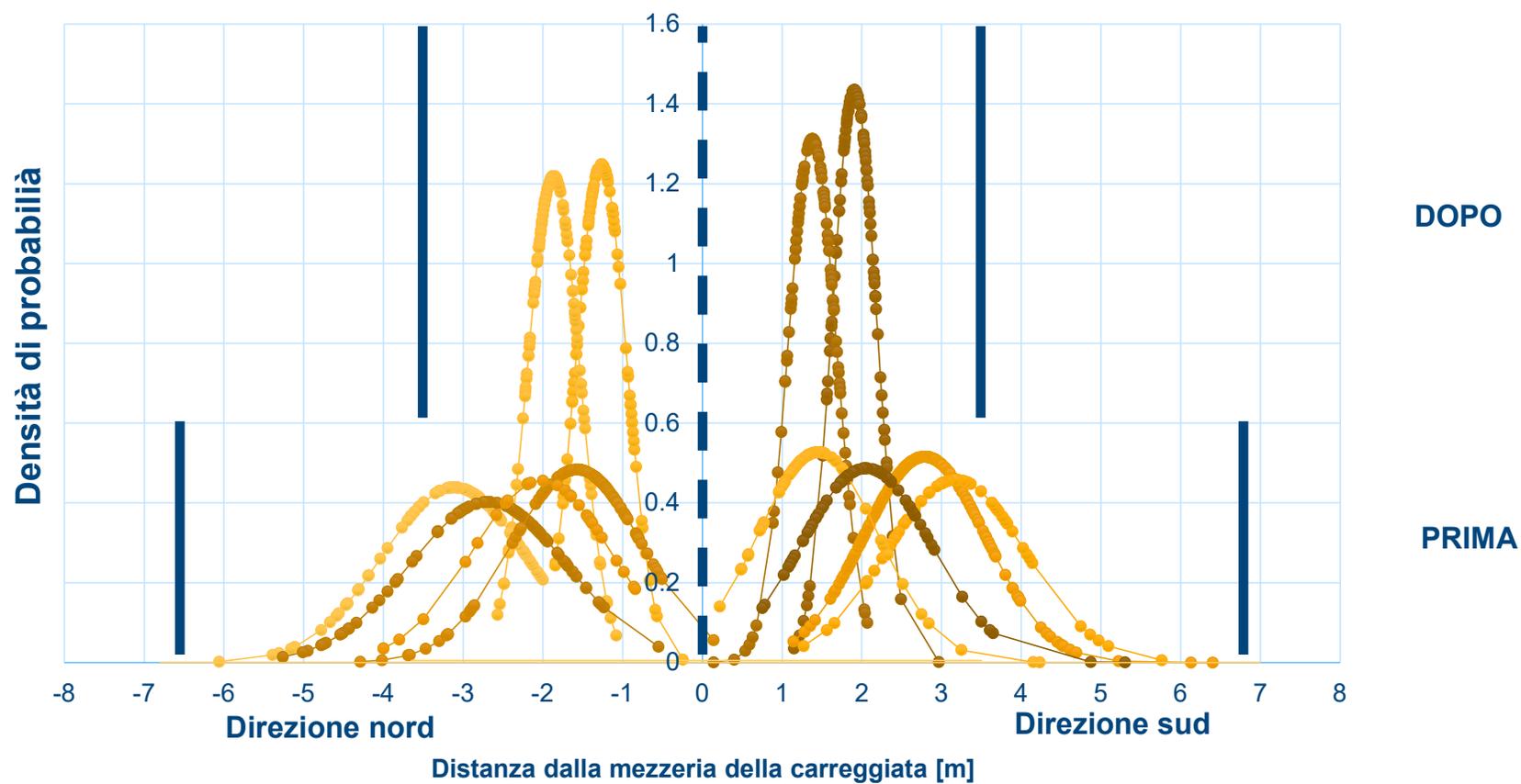
Risultati

- Esempio relativo alla Sezione S03 nel periodo antecedente gli interventi
- Distribuzione di velocità:
 - differenze statisticamente significative tra serie di dati per giorni e direzioni diverse
- Esempio Giorno 1 vs Giorno 2:
 - Direzione nord: $p < 0.001$
 - Direzione sud: $p = 0.003$
- Esempio Direzione S vs Direzione N:
 - Giorno 1: $p = 0.118$
 - Giorno 2: $p = 0.009$



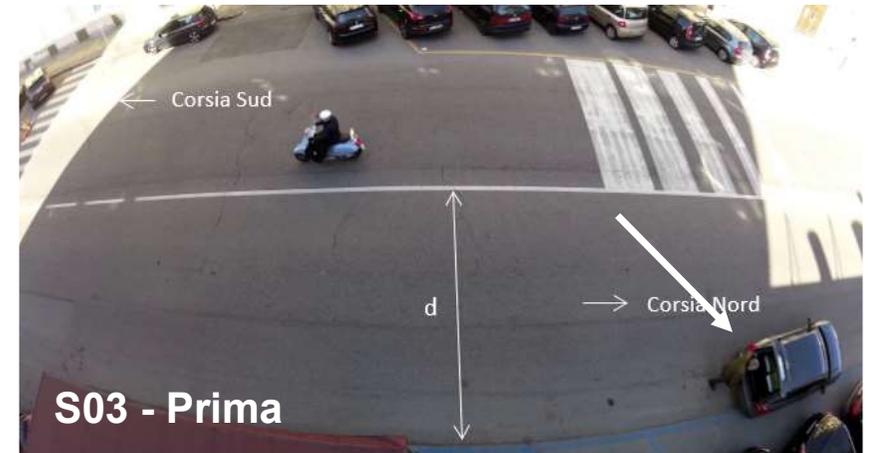
Risultati

- Confronto prima/dopo per la posizione laterale (Sezione S01)



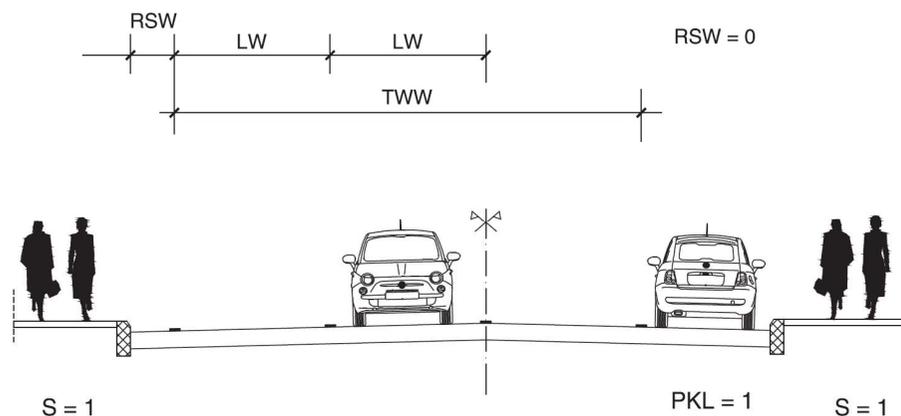
Considerazioni

- Eventi che influenzano la distribuzione di dati:
 - le corsie larghe nel periodo precedente gli interventi favorivano la sosta dei veicoli in doppia fila, i cui effetti possono propagarsi lungo l'asse per decine di metri
 - le corsie più strette (periodo successivo agli interventi) favoriscono la sosta irregolare



Variabili indipendenti nelle osservazioni

#	Variabile	Simb.	Tipo	u.m.
1	Limite di velocità	PSL	NC	km/h
2	Larghezza carreggiata	TWW	NC	m
3	Larghezza corsia	LW	NC	m
4	Banchina destra	SR	B	-
5	Larghezza banchina dx	SRW	NC	m
6	Banchina sinistra	SL	B	-
7	Larghezza banchina Sx	SLW	NC	m
8	Corsia/fermata taxi e bus	PUB	B	-
9	Corsie per manovra	Dev	B	-
10	Densità corsie per manovra	DevD	NC	No./km
11	Accessi	D	B	-
12	Densità accessi	DD	NC	No./km
13	Intersezioni	I	B	-
14	Densità intersezioni	ID	NC	No./km
15	Marcia piede	S	B	-
16	Attraversamento pedonale	Ped	B	-
17	Densità attraversamenti pedonali	PedD	NC	No./km
18	Parcheggi	PKL	B	-
19	Attenuatori di velocità	TCD	B	-



Analisi della varianza

Fattori	Velocità (p-value)	Effetto	Distanza dal centro della carreggiata (p-value)	Effetto
Larghezza della corsia	< 0,001	↑	< 0,001	↑
Densità degli attraversamenti	0,311	-	< 0,001	↓
Densità degli accessi	< 0,001	↓	< 0,001	↓
Densità delle intersezioni	< 0,001	↓	< 0,001	↓
Presenza di stalli per la sosta (s/n)	< 0,001	↓	< 0,001	↓
Fattore prima/dopo	0,011	↓	< 0,001	↓
N. di osservazioni	2037		1837	

Modello predittivo delle velocità

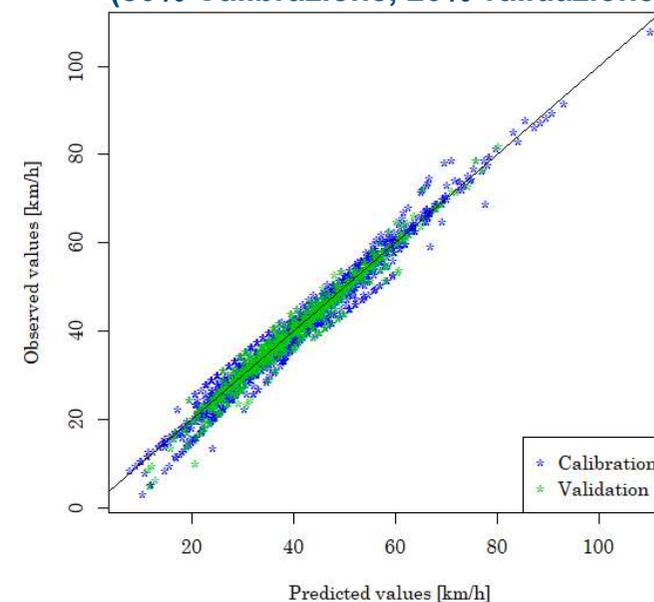
Modello lineare misto con effetti casuali annidati:

$$V_{rsd,i} = \underbrace{\beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k^C \cdot X_{ki}}_{\text{Effetti fissi}} + \underbrace{\sum_{j=1}^J \beta_k^D \cdot (Z_p \cdot X_{ji}) + \alpha_r + \alpha_{s|r} + \alpha_{l|sr}}_{\text{Effetti casuali}} + \underbrace{\varepsilon_{rsl,i}}_{\text{errore}}$$

Variabile		Stima (β)	Errore std.	P(> t)
X_{ki}	β_0 Intercetta	66,02	7,39	< 0,0001
	PKL Parcheggio	-7,42	1,60	< 0,0001
	S Marciapiede	-24,07	7,03	< 0,001
	DD Densità accessi	0,39	0,02	< 0,0001
	Zp Variabile normale standardizzata	10,00	0,38	< 0,0001
X_{ji}	Z* TWW Larghezza carreggiata	0,18	0,02	< 0,0001
	Z* PUB Corsia riservata BUS	1,26	0,15	< 0,0001
	Z* ID Densità delle intersezioni	0,07	0,01	< 0,0001
	Z* S Marciapiede	-4,39	0,24	< 0,0001

Nota: $V_{15} \rightarrow Z_p = -1.04$ $V_{50} \rightarrow Z_p = 0$, $V_{85} \rightarrow Z_p = +1.04$

3722 dati (via Nizza + altre vie)
(80% Calibrazione, 20% validazione)



Considerazioni generali sul caso studio

- Gli interventi hanno significativamente modificato il comportamento dei guidatori.
- Si osserva un generale miglioramento del comportamento dei conducenti poiché si è registrata :
 - riduzione della velocità
 - diminuzione della dispersione laterale delle traiettorie



Considerazioni generali sul caso studio

- I fattori geometrici che influenzano le velocità influiscono anche sulla distribuzione laterale, ma un ruolo diverso è stato svolto dalla densità degli attraversamenti pedonali.
- I comportamenti sono influenzati anche da fattori non misurabili e che dipendono dalla strada, dal tratto di strada e dalla direzione di marcia.
- È essenziale non acquisire dati condizionati da:
 - presenza dei rilevatori
 - presenza di veicoli mal parcheggiati
 - condizionamenti di altre componenti



Considerazioni conclusive sul caso studio

- I cambiamenti nel comportamento di guida dovrebbero aver prodotto un cambiamento nelle prestazioni di sicurezza di via Nizza.
- Questo cambiamento deve essere dimostrato da un'analisi prima/dopo sulla frequenza e la gravità degli incidenti rilevati (in corso di esecuzione).
- Gli effetti di migrazione non sono stati analizzati (es., la riduzione della velocità in via Nizza potrebbe aver prodotto aumento di velocità nei corridoi stradali più vicini), ma saranno quantificati nel caso degli incidenti.
- I cambiamenti di comportamento sono limitati ai tronchi, analogo lavoro è in corso per le intersezioni.
- Gli effetti della geometria stradale urbana sul comportamento di tutti gli utenti sono oggetto di nuove attività di ricerca.



Progetti in corso



Accident Risk Reduction of Vulnerable Road Users

Nel progetto **ARCADE** si valuteranno:

- (i) i fattori geometrici e comportamentali che condizionano il rischio di incidente,
- (ii) quali contromisure sono più efficaci nel ridurre la propensione al rischio.

ARCADE è un progetto multidisciplinare che combina:

- (i) osservazioni di siti stradali con diverso grado di incidentalità, e
- (ii) simulazioni multi-prospettiche di guidatori, pedoni e ciclisti.

Finanziamento MUR – PRIN Bando 2022 – Prot. 20228CNNMH



prof. Francesco Bella, coordinatore nazionale, responsabile di unità Ingegneria delle Infrastrutture Viarie



prof. Andrea Spoto, responsabile di unità di ricerca Psicometria, Psicofisiologia



prof. Marco Bassani, responsabile di unità di ricerca Ingegneria delle Infrastrutture Viarie

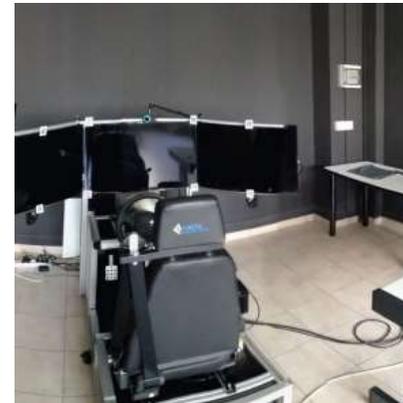


Ringraziamenti

- prof. Marco Piras
- ing. Lorenzo Catani
- ing. Gloria Mania
- ing. Loredana Chiforeanu
- ing. Filippo Lolli
- ing. Manuel Mancinelli



ing. Abrar Hazoor
ing. Arastoo Karimi
ing. Alessandra Lioi
ing. Alberto Portera
ing. Luca Tefa





CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Con il contributo incondizionato di:



La progettazione di opere di adeguamento di infrastrutture stradali esistenti

Quadro normativo e scelte tecniche
Parte 2: Ambito Urbano

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Marco Bassani

marco.bassani@polito.it

www.diati.polito.it



Politecnico
di Torino

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

