

Corso di formazione “la Mobilità Sostenibile”

Il trasporto pubblico nelle sue forme innovative

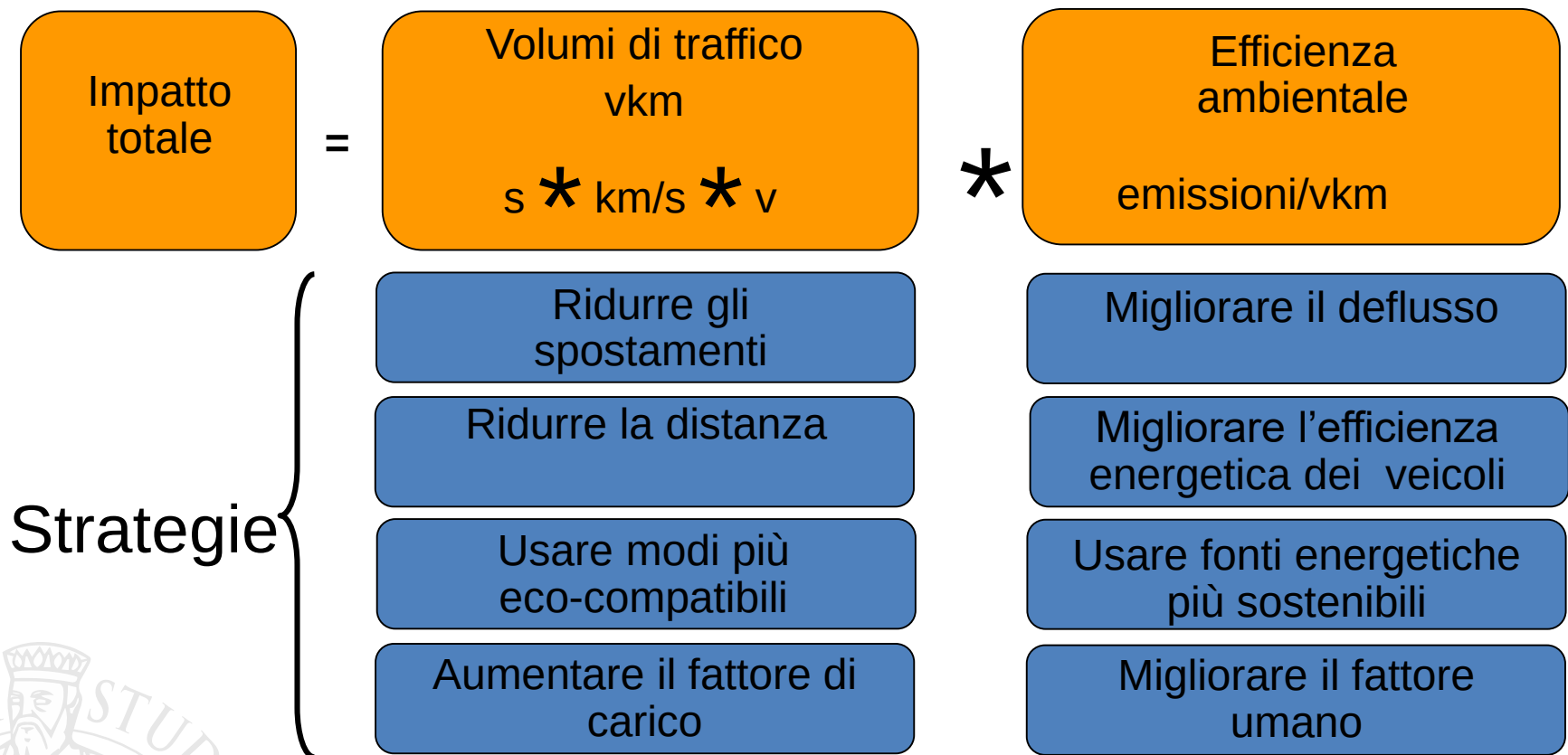
Adriano Alessandrini

Argomenti

- Come rendere sostenibile il trasporto urbano ed in particolare quello pubblico
- Power train e combustibili innovativi per veicoli TPL
- Le tecnologie dell'informazione per il trasporto pubblico e la condivisione dei veicoli
- Le tecnologie dell'automazione e loro applicazione al TPL
- Mescoliamo un po' tutto



Come rendere sostenibile il trasporto urbano: le variabili Strategiche per ridurre le emissioni del traffico



Come rendere sostenibile il trasporto urbano: Misure di politica dei trasporti e del territorio

	Riduzione spostamenti	Riduzione distanze	Trasferimento modale	Aumento occupazione	Migliore deflusso	Migliori veicoli
ASSETTO DEL TERRITORIO						
Localizzazione nuovi insediamenti (riduzione dispersione, accessibilità al trasporto pubblico con alte prestazioni)		✓	✓			
Mix funzionale degli insediamenti		✓	✓			
INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO						
Rete integrata di percorsi pedonali, piste ciclabili e strade di quartiere con moderazione del traffico e facilità al trasporto pubblico			✓		✓	

Come rendere sostenibile il trasporto urbano: Misure di politica dei trasporti

	Riduzione spostamenti	Riduzione distanze	Trasferimento modale	Aumento occupazione	Migliore deflusso	Migliori veicoli
SOCIETÀ DELL'INFORMAZIONE						
Telelavoro	✓					
Sistemi informativi per la pianificazione del viaggio		✓	✓		✓	
ORGANIZZAZIONE E GESTIONE						
City logistics e gestione delle flotte merci				✓		
Forme innovative di possesso auto (<i>car sharing</i>)		✓	✓			
DIVIETI E LIMITAZIONI						
Zone a traffico limitato		✓	✓		✓	
STRUMENTI ECONOMICI						
Pricing dell'accesso e della sosta		✓	✓		✓	

Come rendere sostenibile il trasporto urbano: lo spostamento verso il trasporto pubblico per ridurre i consumi

	Consumo [l/100km]	occupazione [pax/veh]	Consumo per Passegero [l/100pax·km]	Rip. modale [%]	Consumo med. per Passegero [l/100pax·km]
Individuale (auto)	10	1.2	8.33	60	6.66
Collettivo (bus)	50	30	1.67	20	
Invertendo la ripartizione modale tra bus e automobile					
				Rip. modale [%]	Consumo med. per Passegero [l/100pax·km]
Individuale (auto)				20	3.33
Collettivo (bus)				60	

Power train e combustibili innovativi per veicoli TPL

- I sistemi di trazione ibridi
 - Definizioni
 - Caratteristiche principali
 - Le diverse configurazioni
 - Vantaggi e svantaggi
- I combustibili alternativi
 - Fossili
 - Bio
 - Idrogeno
- Il power train del veicolo elettrico
- I diversi accumulatori elettrici
 - Elettrostatici
 - Elettrochimici
 - cinetici
- Altri modi di sfruttare l'energia cinetica immagazzinata
- Applicazione ai sistemi di trasporto
- Progetti di ricerca in corso sui powertrain innovativi

Definizione di sistema di trazione ibrido (1/2)

- Sistema di trazione che comprende almeno due motori di diversa natura (condizione necessaria ma non sufficiente)
- Composto da:
 - Generatore di energia (normalmente un motore termico accoppiato con un generatore elettrico ma esistono altre soluzioni)
 - Utilizzatore (normalmente un motore elettrico connesso alle ruote ma esistono diverse soluzioni)
 - Organi intermedi (sia meccanici che elettrici)

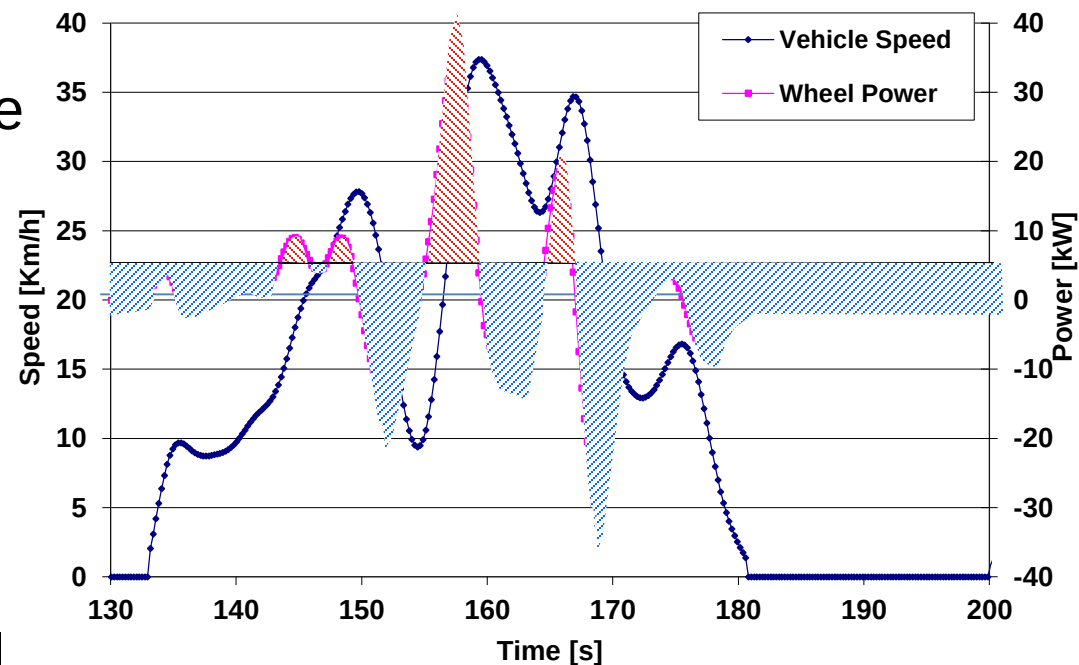
Definizione di sistema di trazione ibrido (2/2)

- Sistemi ibridi con o senza accumulo energetico
 - In assenza di accumulo energetico, si hanno sistemi come il diesel-elettrico ferroviario che non sempre sono considerati ibridi
 - In presenza di accumulo energetico, la definizione di sistema ibrido è universalmente condivisa



Genesi del concetto di veicolo ibrido

- Il sistema ibrido consente il recupero dell'energia (potenza) spesa nella fase di frenatura
- Le zone di recupero sono quelle a potenza < 0
- Questo era già vero per i veicoli puramente elettrici negli ibridi (serie) si aggiunge un generatore
- Nell'ipotesi che questo eroghi potenza costante il grafico cambia così



Caratteristiche di un sistema di trazione ibrido (1/2)

Con un sistema di accumulo energetico a bordo, il sistema ibrido consente:

- Il recupero parziale dell'energia cinetica del veicolo
 - Diminuzione dei consumi energetici
 - Ottimizzazione dei flussi energetici fra i vari componenti
 - Diminuzione del consumo dei freni (vantaggi economici ed ecologici)



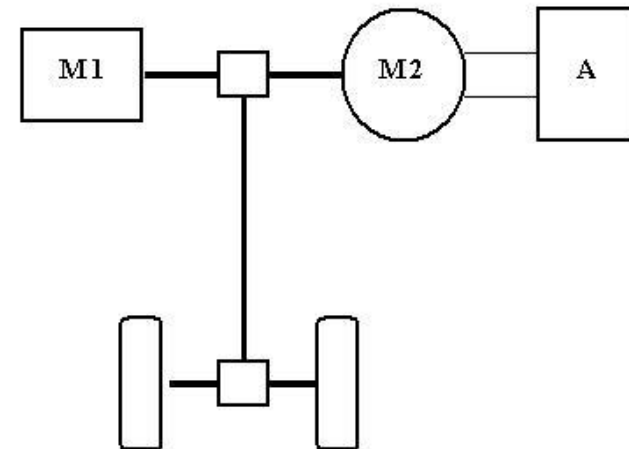
Caratteristiche di un sistema di trazione ibrido (2/2)

- Lo svincolo del sistema di generazione da quello di utilizzazione
 - Ottimizzazione del comportamento energetico del motore primo
 - Ottimizzazione delle sue caratteristiche ecologiche
 - Impiego come motori primi di macchine non adatte alla trazione urbana ma con elevate caratteristiche energetiche ed ecologiche e poli-combustibili (es. motori a vapore)



L'ibrido parallelo

- Sia M1 che M2 possono fornire energia meccanica alle ruote
- Le potenze di M1 e M2 possono essere diverse a seconda di quale dei due si voglia privilegiare in trazione
- Motore elettrico + motore termico come caso classico (ibrido termoelettrico)
- Complicazioni dovute ai sistemi di frizione e controllo tra alberi motore e trasmissione → aumenti di pesi e costi

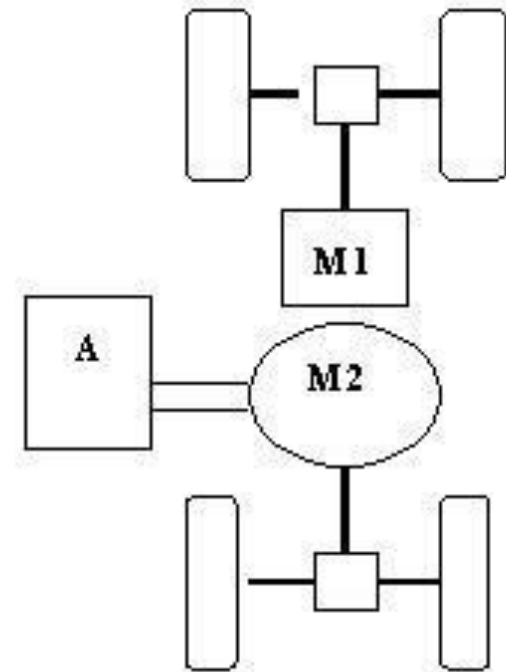


LEGENDA:

M1 motore primario
M2 motore secondario
A accumulatori

L'ibrido bimodale

- Come l'ibrido parallelo, ma con la possibilità di collegare e scollegare i motori, anche singolarmente, alla trasmissione
- Filobus BREDA a Seattle:
 - trazione diesel nella marcia all'aperto
 - trazione elettrica nella galleria di fronte agli stabilimenti Boeing

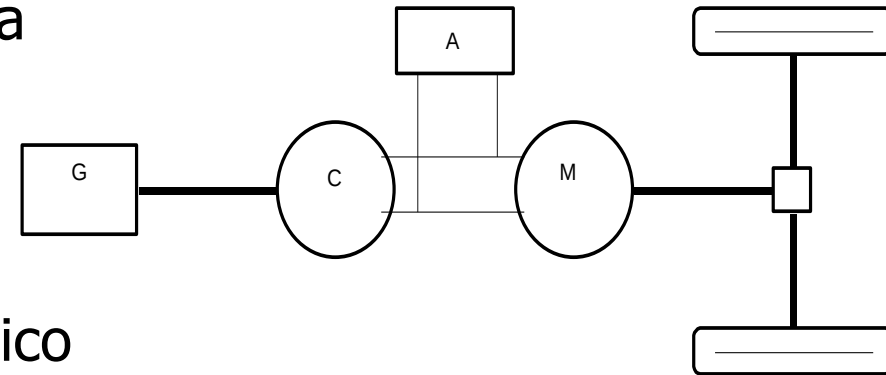


LEGENDA:

M1 motore primario
M2 motore secondario
A accumulatori

L'ibrido serie

- Motori svincolati dal punto di vista cinematico ed energetico
- Motore primo = generatore
- Motrice = utilizzatore
- Accumulatori = tampone energetico
- Scambi energetici possibili:
 - Dal generatore alla motrice
 - Dal generatore agli accumulatori
 - Dagli accumulatori alla motrice
 - Dalla motrice agli accumulatori



LEGENDA:

G = generatore,

C = convertitore,

M = motrice reversibile

A = accumulatori

Funzionamento dell'ibrido serie

- Rilascio acceleratore: frenatura a recupero → la motrice funge da generatore e fornisce energia agli accumulatori
- Pedale sul freno: aumento coppia frenante del motore di trazione
- Quando coppia frenante massima → entrano in azione i freni meccanici
- La potenza del motore termico deve essere dimensionata in funzione della potenza media richiesta per il moto
- Potenza massima fornita dal motore di trazione attingendo energia dal sistema di accumulo
- Sistema di accumulo rifornito a potenza quasi costante dal generatore

Pro dell'ibrido serie

- Elevato rendimento energetico del motore primo
- Facile gestione di potenza e coppie erogate alle ruote
- Flessibilità del sistema di accumulo in accettazione ed erogazione dell'energia
- Semplicità applicativa
- Basso tasso inquinamento

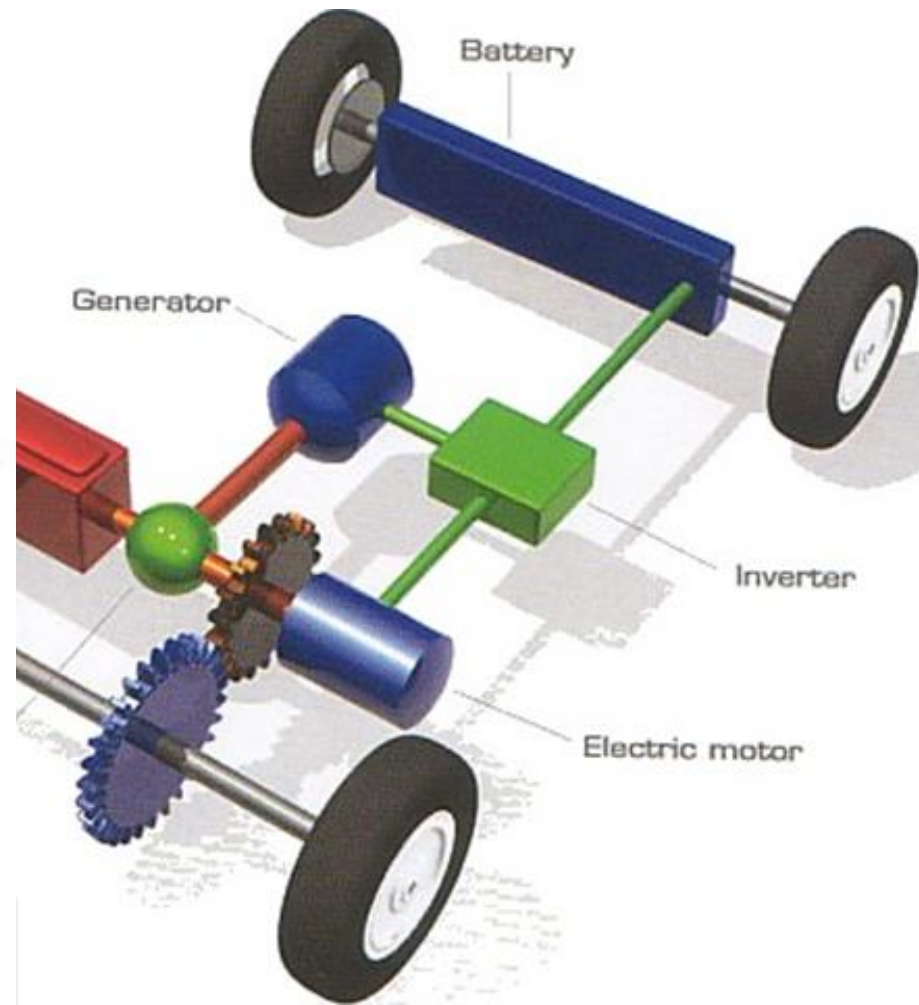
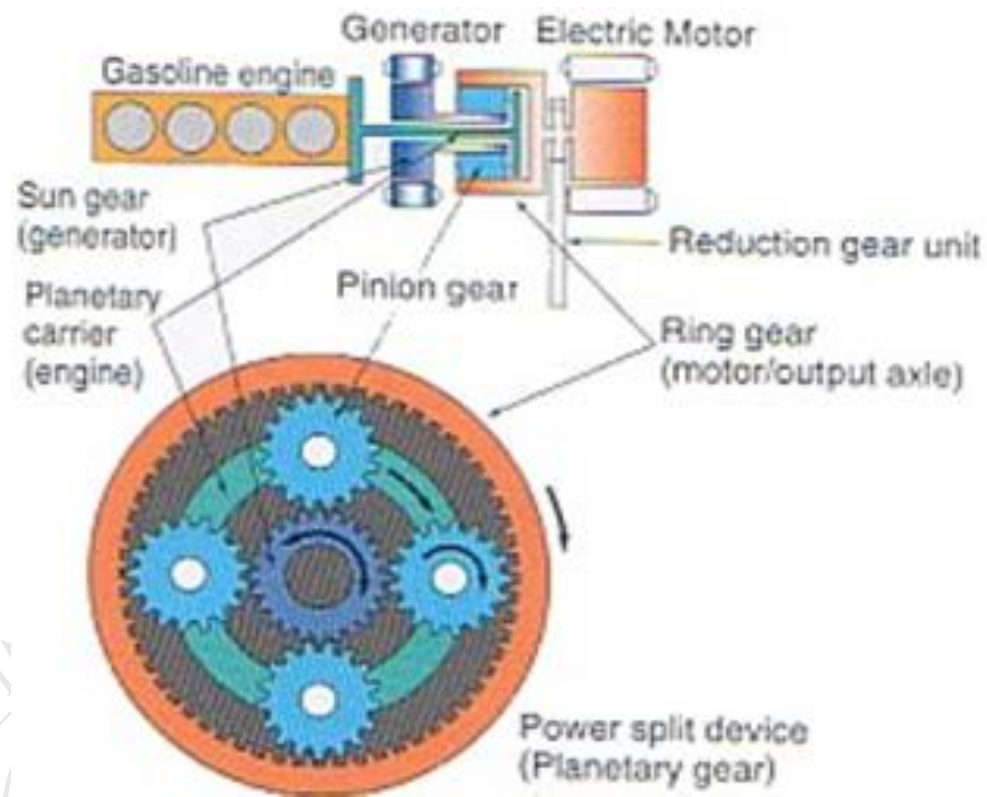


Contro dell’ibrido serie

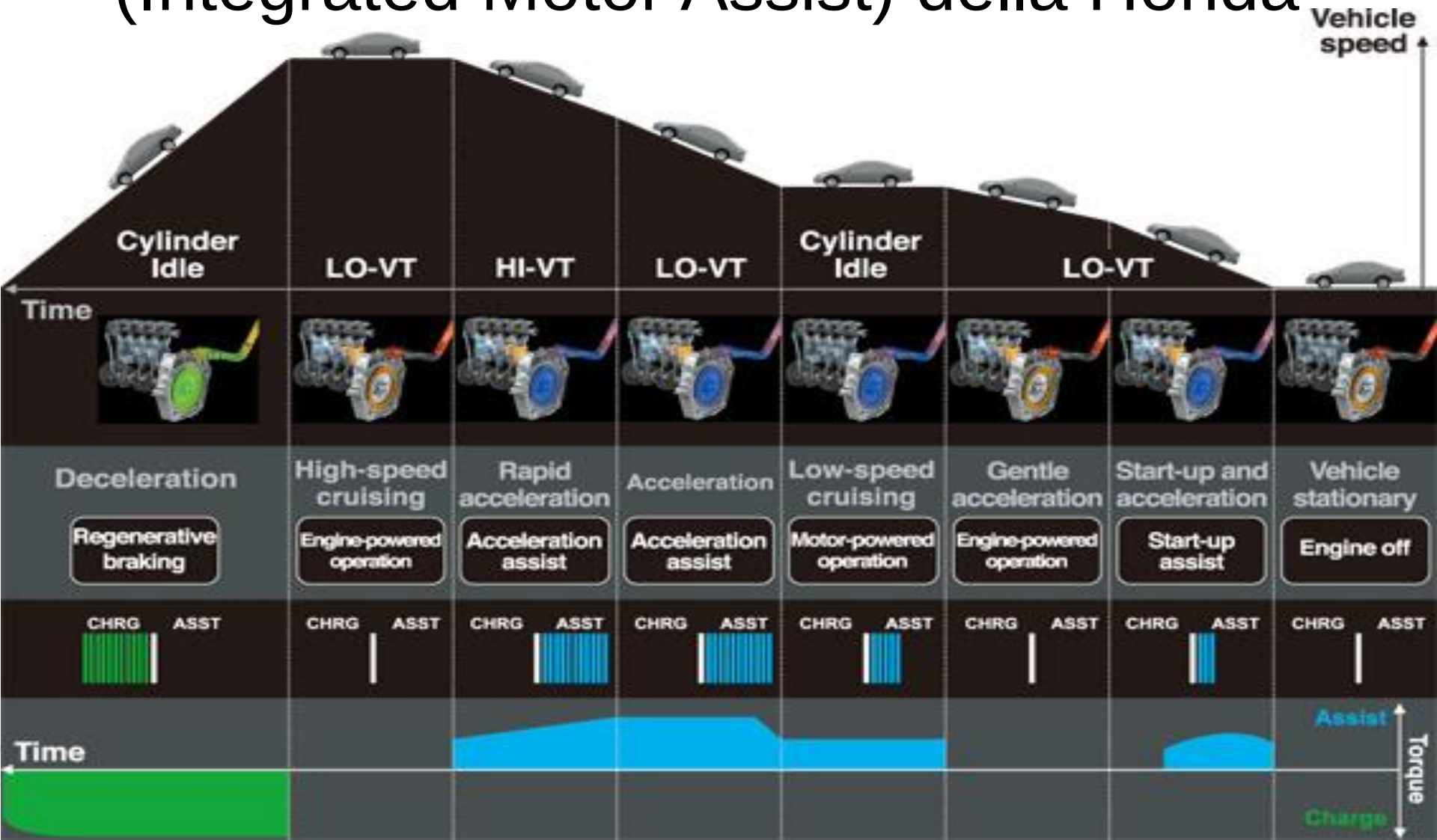
- Configurazione valida solo in ambito urbano (presenza di periodi di sosta):
 - Il motore primo deve ricostruire la riserva di energia consumata con potenza ridotta e continua
 - Impossibile nell’extra-urbano (elevata richiesta di potenza per la trazione)
- Bassi rendimenti nelle conversioni di energia
- Elevati costi per acquisto e manutenzione



Il sistema di trazione della Toyota



Il sistema di trazione IMA (Integrated Motor Assist) della Honda



Carburanti ecologici

- Fossili
 - GPL
 - Gas Naturale
- Biologici
 - Etanolo
 - Biodiesel
 - Biocombustibili di seconda generazione
- Idrogeno
 - In motori a combustione interna
 - In celle a combustibile

Come funzionano i powertrain a CNG e GPL

- Sono normali autoveicoli ad accensione comandata convertiti, prima o dopo l'immissione nel mercato, per utilizzare un diverso combustibile
- Normalmente la conversione consiste nell'aggiunta di un nuovi serbatoi e linee per il combustibile e nel regolare differentemente i parametri dell'accensione comandata (fasatura e anticipo dell'accensione)



Vantaggi di CNG e GPL

- Basse emissioni
 - per assenza di benzene, IPA e zolfo e
 - perché il tasso di emissione di CO, NOx e VOC è contenuto
- Prestazioni del veicolo comparabili con quello a benzina non convertito
- Minori costi del combustibile
- Possibilità di circolazione in aree con limitazioni di traffico



Cosa sono i bio-carburanti (1/2)

- BIOETANOLO etanolo prodotto da biomasse, usato puro o in miscela con i carburanti convenzionali
- BIODIESEL metilestere prodotto da oli vegetali (o animali) usato puro o in miscela con il normale gasolio
- ETBE (estere etilterbutilico) derivato dal bioetanolo, può essere usato in miscela fino al 15% nella benzina



Cosa sono i bio-carburanti (2/2)

- BIOGAS ricavato per fermentazione anaerobica della biomassa e/o dalla frazione biodegradabile dei rifiuti
- BIOMETANOLO ricavato dalla biomassa e/o dalla frazione biodegradabile dei rifiuti è equivalente al metanolo di origine fossile e nella trazione può essere usato nelle stesse condizioni
- BIOOLIO ricavato per pirolisi dalla biomassa può essere usato come il normale gasolio



Vantaggi dei bio-carburanti

- Totale biodegradabilità
- Riduzione delle emissioni di CO₂ (WTW)
- Migliore combustione per la presenza di un maggiore quantitativo di ossigeno (riduzione delle emissioni di CO, VOC e PM₁₀)
- Assenza di idrocarburi policiclici aromatici (derivati dal benzene) e zolfo



Svantaggi dei bio-carburanti

- Problemi di tipo tecnico-economico (incompatibilità di alcuni materiali con miscele superiori al 5% di biodiesel)
- Essendo prodotti da prodotti commestibili il loro impiego per la realizzazione di combustibili diminuisce il cibo disponibile per i paesi poveri



Discussione sulla sostenibilità della produzione di biocarburanti

Mancano metodologie specifiche di riferimento su alcuni termini che si riferiscono alle emissioni di gas serra delle singole fasi del processo di produzione:

- emissioni dalla fase di coltivazione;
- emissioni derivanti dal cambio di uso del suolo (guida per il calcolo degli stock di carbonio nel suolo).
- emissioni dei co-prodotti utilizzati come mangimi per animali.
- emissioni fase di trasporto.



Biocarburanti di seconda generazione

- I biocarburanti di seconda generazione, o ligneocellulosici, non provengono dalla parte edibili delle colture alimentari ma dai residui agricoli
- Non hanno ancora raggiunto un livello di commerciabilità
- Progressi tecnici sono stati fatti, ma rimangono elevati costi di produzione e non è dimostrata la disponibilità su scala industriale
- L'approvvigionamento delle materie prime sostenibili rappresenta un punto di criticità



Biocarburanti delle generazioni successive

- La 3° generazione di biocarburanti cerca di migliorare la qualità delle materie prime per aumentare la resa:
 - sono stati creati dagli scienziati alberi di pioppo con bassi contenuti di lignina per rendere il processo di lavorazione più facile
- Con 4° generazione di biocarburanti si parla di microrganismi geneticamente modificati in grado di catturare grandi quantità di CO₂
 - La chiave per l'intero processo rendere la produzione di biocarburante di 4° generazione un processo che sottragga più CO₂ all'atmosfera di quanta non ne re immetta all'atto della combustione



Cos'è l'idrogeno (1/2)

- L'elemento chimico più leggero esistente in natura (contiene un protone e un elettrone). Simbolo: H
- A temperature normali è un gas, leggero, incolore, inodore, non tossico (ma altamente combustibile)
- Nel gas, l'idrogeno si trova come H₂ (due atomi legati fra loro)
- Il gas H₂ pesa 8 volte meno del metano e 16 volte meno dell'ossigeno



Cos'è l'idrogeno (2/2)

- L'idrogeno (come gli altri combustibili) contiene energia chimica nel suo legame. Si può estrarre questa energia facendo reagire il combustibile con l'ossigeno



- Un chilogrammo di H₂ che brucia così produce fino a 142 milioni di Joule (invece un chilogrammo di CH₄ che brucia così produce fino a 56 milioni di Joule): l'energia necessaria per far bollire circa 475 kg di acqua



Energia specifica

- L'energia (espressa in MJ) liberata dalla combustione di 1 kg di idrogeno è di gran lunga superiore agli altri; l'idrogeno è il combustibile più energetico a parità di peso
- Il problema è che l'idrogeno è così leggero (cioè ha una densità così bassa) che occupa molto spazio: 1 kg di H₂ occupa 56 litri, mentre 1 kg di benzina occupa circa 1 litro.



L'idrogeno come vettore energetico al pari dell'elettricità (1/2)

- L'idrogeno non è una fonte energetica, è solo un “vettore energetico” di energia: l'energia (proveniente da qualche altra fonte) viene spesa per produrre H₂ in qualche posto, poi l'H₂ viene trasportato dove serve e “bruciato” nelle pile a combustibile per riottenere l'energia che avevamo “immagazzinato”.



L'idrogeno come vettore energetico al pari dell'elettricità (2/2)

- Un problema è che l'idrogeno gassoso (H_2) non si trova sulla terra: è troppo leggero e sfugge alla nostra forza di gravità
- Prima di usarlo, bisogna quindi produrlo, e si pone il problema della sorgente energetica.
- Quindi è un combustibile pulito solo se il processo in cui è prodotto è a sua volta pulito: altrimenti l'inquinamento viene solo trasferito dal luogo di utilizzo al luogo di produzione.



L'utilizzo dell'idrogeno per autotrazione

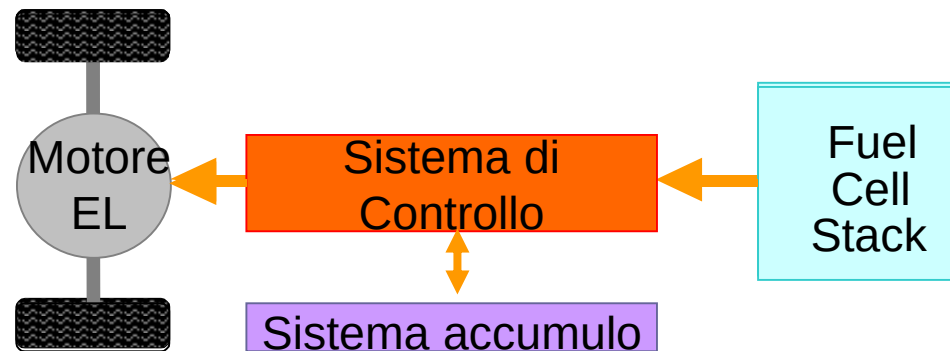
L'idrogeno può rilasciare l'energia chimica che ha accumulato in due modi:

- tramite sistemi elettrochimici (le celle a combustibile) che convertono direttamente l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica
 - quindi l'energia elettrica prodotta viene utilizzata per alimentare dei motori elettrici
- bruciando
 - al pari della benzina, del GPL e del gas naturale può essere utilizzato per alimentare un motore ad accensione comandata



Powertrain ad Idrogeno con FC

Configurazione
ibrida



Nella configurazione indiretta lo schema funzionale del powertrain ricalca quello dell'ibrido serie con:

- possibilità di recuperare l'energia di frenatura
- smussare i transitori della potenza erogata dalla cella
- dimensionare una cella meno potente del picco di potenza del motore elettrico

Problemi nell’Uso dell’Idrogeno in MCI gli NOx

- Nei motori a combustione interna, gli ossidi di azoto (NOx) si formano dall’azoto atmosferico, secondo un meccanismo di reazione favorito da temperature elevate
- Nel funzionamento stechiometrico, l’elevata temperatura di fiamma tipica della combustione dell’idrogeno comporta una corrispondente produzione di NOx
- L’esteso campo di utilizzo dell’idrogeno consente di ovviare al problema, spostando la zona di funzionamento in maniera opportuna

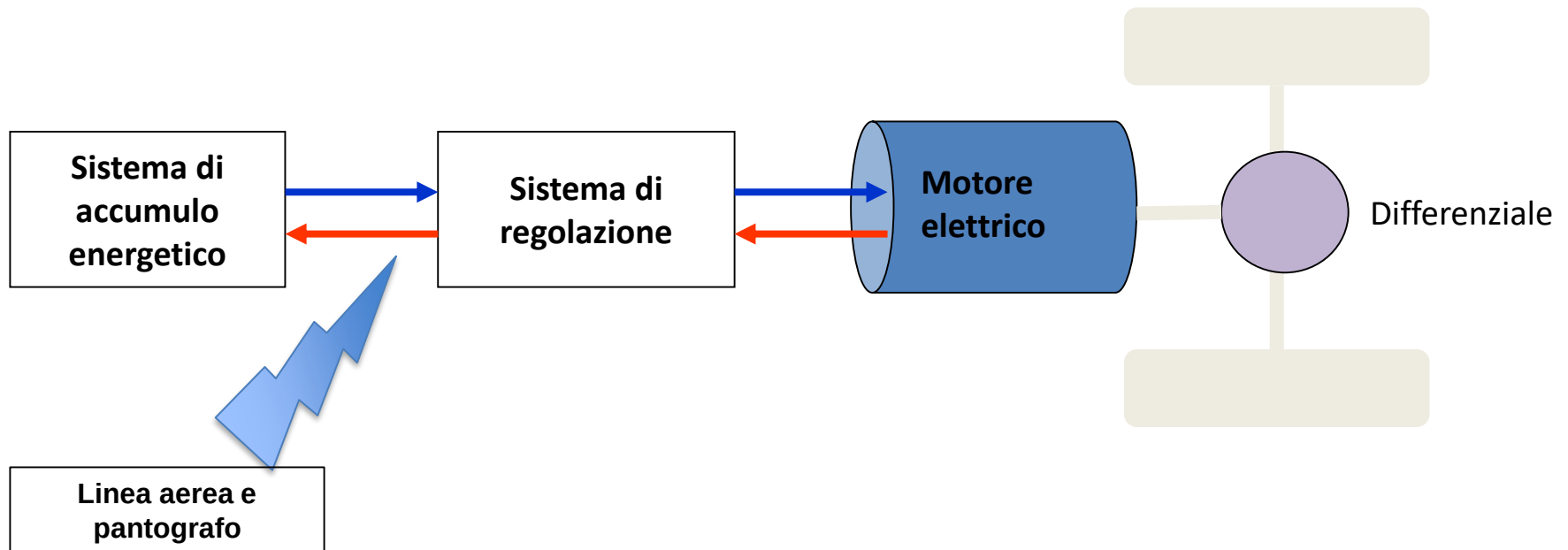


Il problema dell’immagazzinamento di idrogeno

- L'idrogeno è volatile e leggero
- Si può immagazzinare come:
 - gas compresso
 - come liquido ottenuto criogenicamente
 - adsorbito in una matrice di idruri metallici
- Tutte e tre le tecnologie hanno pro e contro e presentano problemi di
 - sicurezza e
 - mantenimento



Schema di un Powertrain “Elettrico”



I vantaggi del veicolo elettrico (1/2)

- Funziona come ZEV (Zero Emission Vehicle)
 - Risolverebbe il problema dell'inquinamento nei centri urbani (inquinamento locale)
 - A livello “globale” la riduzione delle emissioni (in particolare di CO₂) dipende dalle modalità di produzione dell'energia elettrica
- Avendo un sistema di trazione invertibile può recuperare l'energia di frenatura diminuendo i consumi



I vantaggi del veicolo elettrico (2/2)

- Costruttivamente garantisce maggiore flessibilità al progettista
 - l'assenza di connessioni meccaniche tra batterie, sistema di regolazione e motore garantisce la possibilità di disporre ogni parte dove c'è posto
 - si può dividere la potenza su più motori dedicati ognuno ad una ruota eliminando gli ingombri della trasmissione e potendo quindi abbassare il pianale
 - si può arrivare ad integrare il motore nelle ruote che consente la sterzabilità totale di ogni ruota



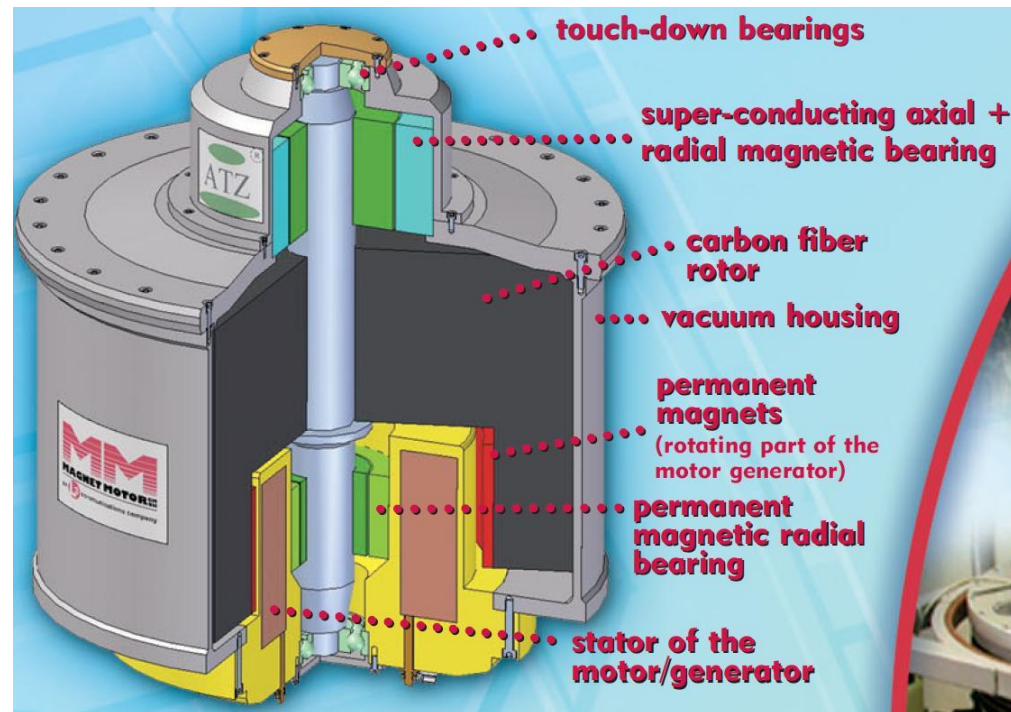
Sistemi di accumulo di energia

- Principio fisico dell'accumulo
 - Elettrochimici: accumulatori elettrici
 - Elastici: molle, gas compressi, accumulatori idraulici
 - Cinetici: volani
 - Magnetodinamici
 - Elettrostatici: supercondensatori
- Due parametri per valutare tali sistemi:
 - Energia specifica (Wh/kg): capacità assoluta dell'unità di massa di accogliere o restituire energia
 - Potenza specifica (W/kg): capacità istantanea dell'unità di massa di accogliere o restituire energia



L'accumulo magnetodinamico (1/2)

- Volani con la parte rotante costituita da magneti annegati in fibre di carbonio
- La cassa esterna è lo statore di un motore elettrico
- Se lo statore fornisce potenza, il rotore accelera immagazzinando energia cinetica, se richiede potenza il rotore rallenta cedendo l'energia cinetica immagazzinata



L'accumulo magnetodinamico (2/2)

- Non avendo connessioni meccaniche può essere sospeso in una struttura che gli consente di ruotare su due assi eliminando il momento giroscopico
- Permangono difficoltà costruttive dei volani classici



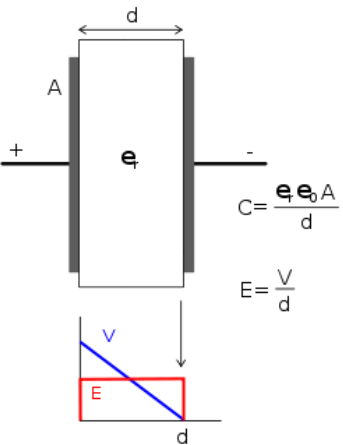
I supercondensatori (1/2)

- Funzionano secondo il principio dei condensatori elettrici: immagazzinano energia elettrica rimuovendo cariche elettriche, tipicamente elettroni, da una superficie metallica e depositandoli su un'altra affacciata. L'isolante fra le due superfici impedisce che le cariche tornino a posto e mantiene una differenza di potenziale tra i due elettrodi che può essere sfruttato da un carico elettrico esterno.

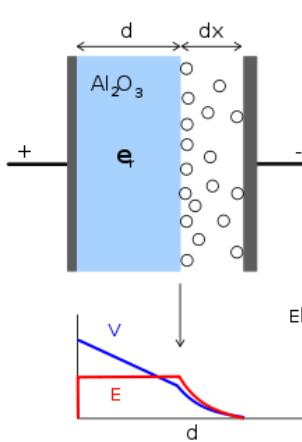


I supercondensatori (2/2)

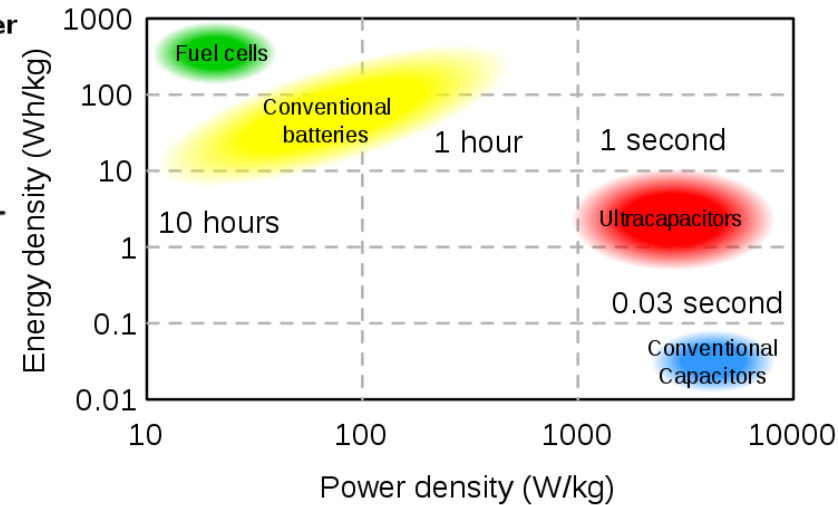
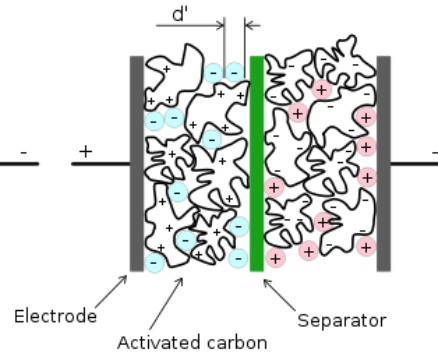
Electrostatic



Electrolytic



Electrochemical double-layer



Confronto tra sistemi di accumulo

Sistemi di accumulo	Densità energetica [Wh/kg]	Densità di Potenza [W/kg]	Cicli di vita 75% scarica	Disponibilità commerciale
Accumulatore idraulico	0.8	10^4	10^7	discreta
Batterie al piombo	35	95	500	ottima
Batterie al Ni-Cd	56	200	2000	buona
Batterie Li-ion	160	1800	1200	buona
Volano	200	10^4	10^7	prototipo
Supercapacitore	1 - 10	1000 – 10'000	10^8	buona
Combustibile (benzina o diesel) + MCI	3800	Teoricamente infinita	-	massima

Applicazioni per veicoli elettrici TPL

- Minibus per i centri cittadini
 - Percorrendo distanze ridotte
 - Necessitano di depositi vicini per cambiare batterie a metà giornata
 - Hanno costi di esercizio per passeggero trasportato tripli dei bus 12 m diesel convenzionali
- Applicazione per filobus con piccola autonomia a batteria
- Applicazioni a bus di 10 e 12 metri ancora da verificare commercialmente

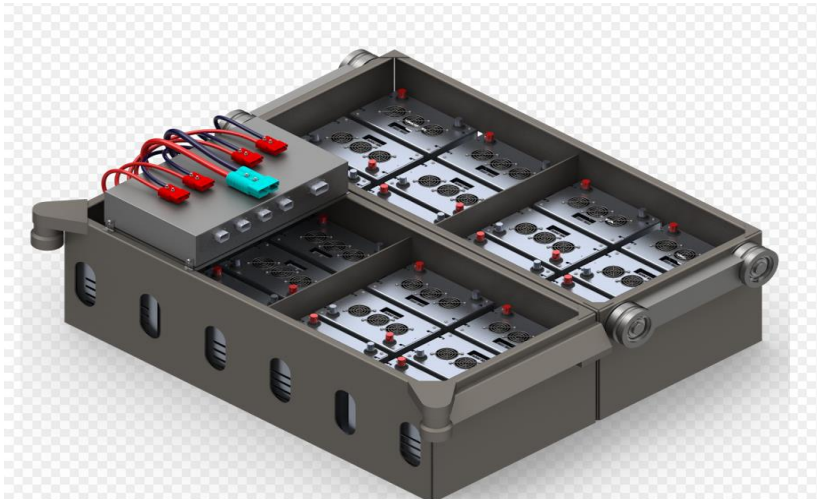


Considerazioni energetico-economiche che frenano la diffusione dei veicoli elettrici nelle flotte TPL

- Un autobus su un percorso urbano ha:
 - Potenza media necessaria 12-14 kW netti alle ruote
 - Massimo il 20% di energia recuperabile (diminuzione di consumo di carburante)
- Il miglioramento del servizio comporta l'aumento velocità medie e quindi la diminuzione dell'energia recuperabile
- Anche recuperando il massimo dell'energia il risparmio sul costo del servizio sarebbe inferiore al 5% del costo globale del servizio a fronte di un considerevole aumento dei costi di gestione



Il bussino elettrico a biberonaggio



	Convenzionale	Biberonaggio
• Electric motor	24.5 kW (72 V DC);	same
• Energy available	39 kWh (Pb-Acid);	17 kWh (Li-ion);
• Recharge time	8 hour with 5 kW charger;	25 minutes with 43 kW charger 2.5 minutes for 15 minutes trip
• Weight (batteries + support box)	1500 kg;	650 kg
• Range	75 km	30 km

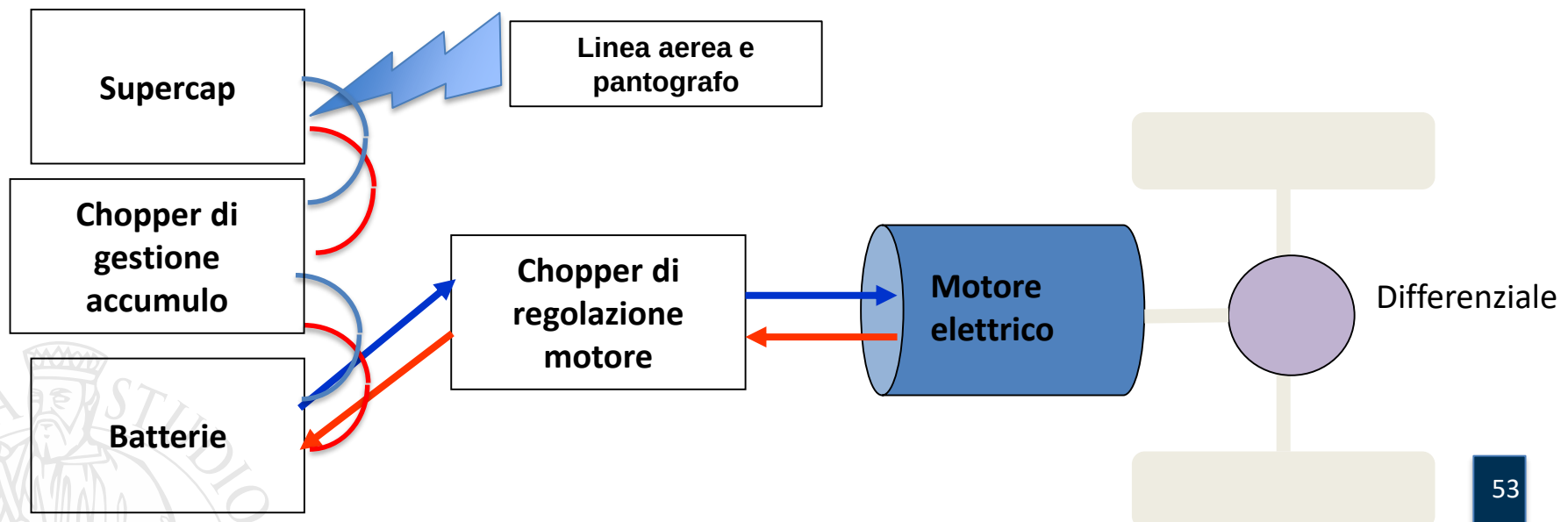
Vantaggi e svantaggi del bussino a biberonaggio rispetto a quello convenzionale

- Vantaggi
 - Ha un'autonomia virtualmente illimitata grazie alla possibilità di ricaricare in poco tempo
 - Ha la possibilità di effettuare percorsi energivori (prevedendo opportune postazioni di ricarica)
 - Diminuisce i pesi e (forse) i costi delle batterie
- Svantaggi
 - Richiede potenze di ricarica molto più elevate
 - A parità di tensioni le correnti sono molto più elevate con maggiori rischi e stress termici
 - Richiede di effettuare ricarica in loco



Ricarica Flash in Accumulo misto

- Ricaricare poca energia alle fermate in pochissimo tempo
- Per travaso diretto tra condensatori carichi e scarichi con elevatissime potenze di trasferimento
- Un sistema di accumulo misto permette la gestione dell'energia



Il bussino UNIFI col pantografo per la ricarica flash

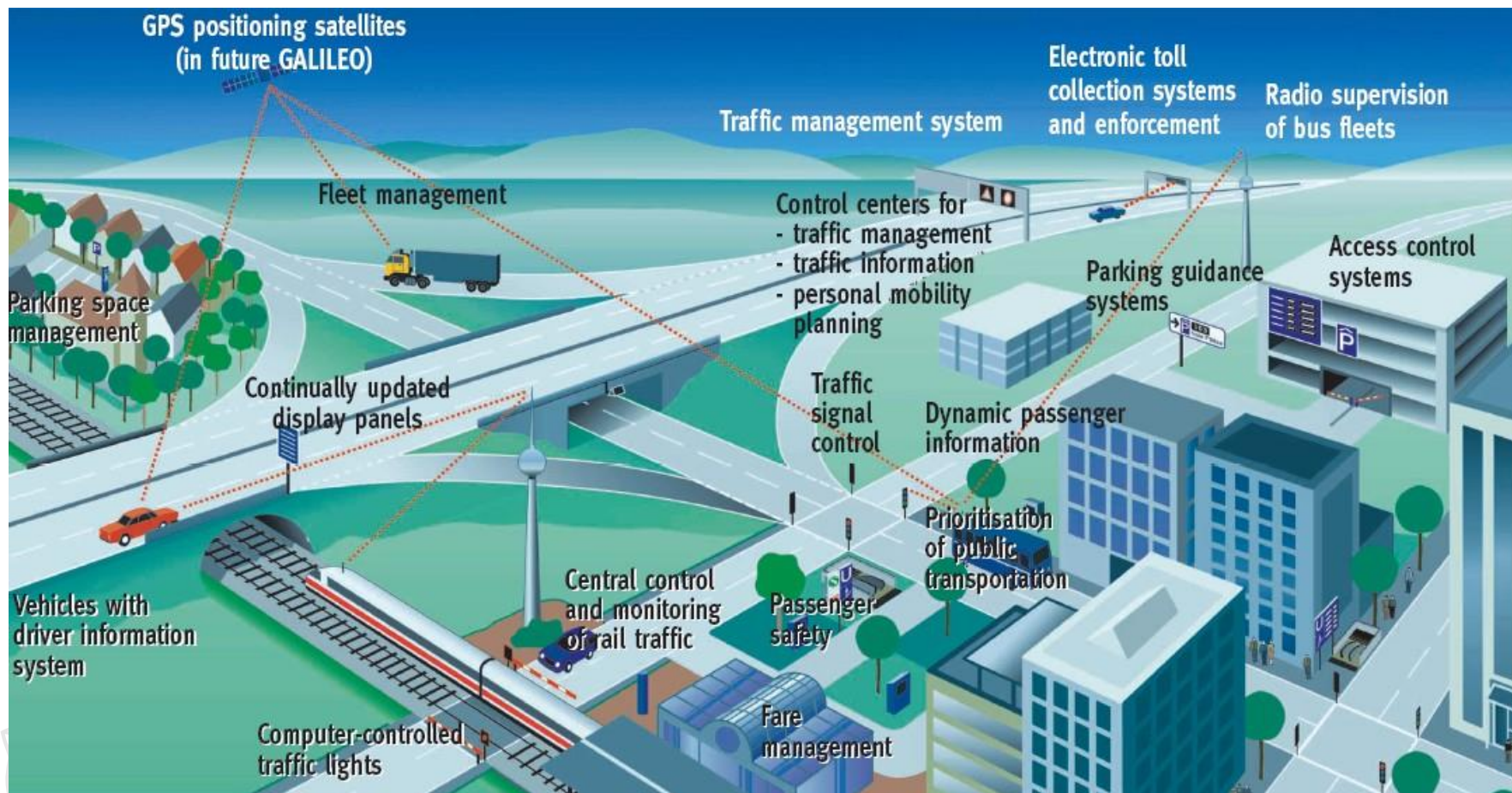


Le tecnologie dell'informazione per il trasporto pubblico e la condivisione dei veicoli

- Definizione del concetto di infomobilità
- I localizzatori ed i location based services
- Le applicazioni ICT per la mobilità passeggeri
 - Servizi per il turismo e integrati trasporti turismo
 - Servizi per il trasporto pubblico e possibili sviluppi futuri
 - Servizi per taxi e taxi collettivi e servizi di trasporto passeggeri a chiamata



Il concetto di infomobilità



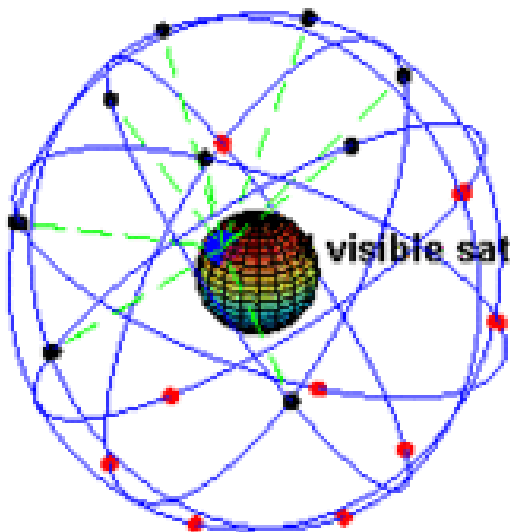
I localizzatori

- Sono apparecchi che tramite un'antenna GPS misurano la posizione in cui si trovano e la trasmettono, tramite GSM, ad una centrale
- Normalmente sono installati su veicoli e localizzano la posizione del veicolo ma possono essere:
 - da tasca, localizzando la persona (la maggior parte dei cellulari è anche un localizzatore oggi);
 - applicati su merce unitizzata (es. un pallet);
 - applicati su un'unità di carico
- La posizione trasmessa può essere visualizzata su una mappa telematica e/o utilizzata per servizi location based:
 - per chi occupa la posizione localizzata
 - per chi ha interesse a monitorare la posizione del qualcosa (o qualcuno) su cui sono installati



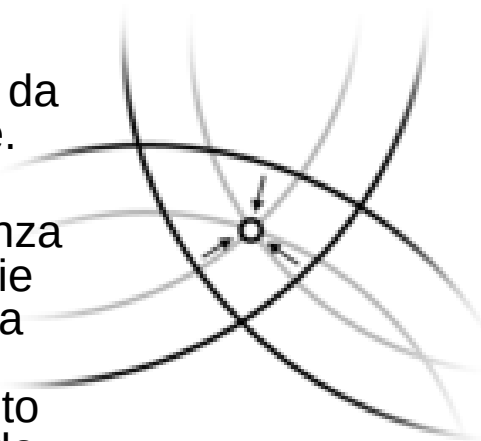
II GPS

Nelle telecomunicazioni il sistema di posizionamento globale (in inglese: Global Positioning System, in acronimo: GPS, a sua volta abbreviazione di NAVSTAR GPS, acronimo di NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System o di NAVigation Signal Timing And Ranging Global Position System[1]) è un sistema di posizionamento e navigazione satellitare militare che, attraverso una rete dedicata di satelliti artificiali in orbita, fornisce a un terminale mobile o ricevitore GPS informazioni sulle sue coordinate geografiche e sul suo orario in ogni condizione meteorologica, ovunque sulla Terra o nelle sue immediate vicinanze dove vi sia un contatto privo di ostacoli con almeno quattro satelliti del sistema. La localizzazione avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite e l'elaborazione dei segnali ricevuti da parte del ricevitore.



Principio di funzionamento del GPS

- si basa su un metodo di posizionamento sferico ([trilaterazione](#)), che parte dalla misura del tempo impiegato da un [segnale radio](#) a percorrere la distanza satellite-ricevitore.
- Poiché il ricevitore non conosce il momento in cui è stato trasmesso il segnale dal satellite, per il calcolo della differenza dei tempi il segnale inviato dal satellite è di tipo orario, grazie all'[orologio atomico](#) presente sul satellite: il ricevitore calcola l'esatta distanza di propagazione dal satellite a partire dalla differenza (dell'ordine dei microsecondi) tra l'orario pervenuto e quello del proprio orologio sincronizzato con quello a bordo del satellite, tenendo conto della velocità di propagazione del segnale.
- L'orologio a bordo dei ricevitori GPS è però molto meno sofisticato di quello a bordo dei satelliti e deve essere corretto frequentemente, non essendo altrettanto accurato sul lungo periodo. In particolare la sincronizzazione di questo orologio avviene all'accensione del dispositivo ricevente, utilizzando l'informazione che arriva dal quarto satellite, venendo così continuamente aggiornata.^[1] Se il ricevitore avesse anch'esso un orologio atomico al cesio perfettamente sincronizzato con quello dei satelliti, sarebbero sufficienti le informazioni fornite da 3 satelliti, ma nella realtà non è così e dunque il ricevitore deve risolvere un sistema di 4 incognite ([latitudine](#), [longitudine](#), [altitudine](#) e [tempo](#)) e per riuscirci necessita dunque di almeno 4 [equazioni](#).



Intersecando con la superficie terrestre tre circonferenze, luogo dei punti che soddisfa la misura della distanza dal satellite (che conosciamo), si può individuare un punto su di essa.

I location based services

- I location based services sono quei servizi che possono essere erogati solo conoscendo la, e in funzione della, posizione del richiedente il servizio
- Esempi:
 - chiedere informazioni turistiche su un luogo che si sta visitando;
 - conoscere esercizi commerciali nelle vicinanze;
 - ricevere una mappa digitale o indicazioni per un navigatore satellitare per raggiungere un luogo di interesse;
 - conoscere la posizione di una merce, una persona, un veicolo, ...
 - comunicare la propria posizione al veicolo che attendiamo;
 - conoscere il tempo di attesa perché il veicolo che attendiamo ci raccolga;
 - ...



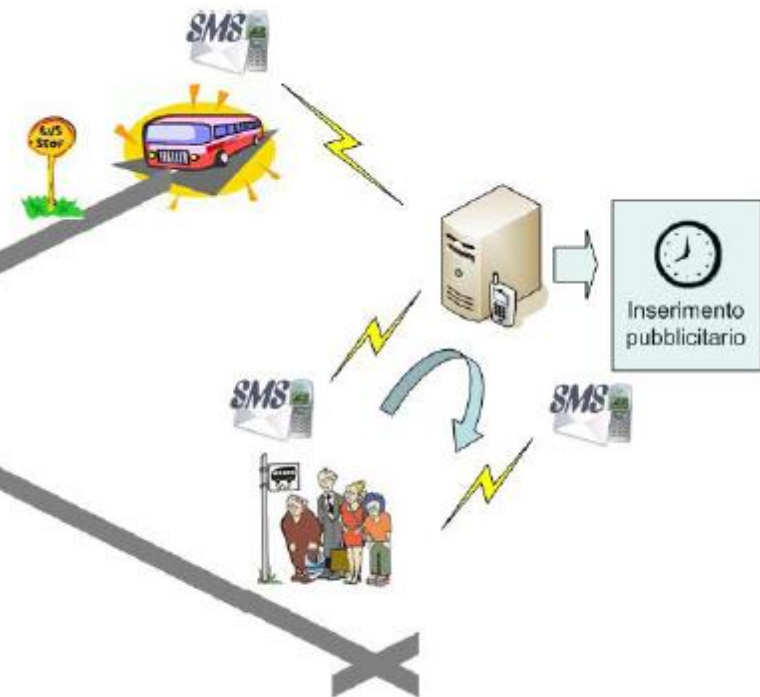
I servizi per turisti e viaggiatori

- Per i bus turistici
 - Navigazione su itinerari specifici
 - Prenotazione delle piazzole di sosta
 - Autorizzazione (e verifica) dell'ingresso ad ogni area della città agli orari stabiliti
- Per i viaggiatori
 - Informazioni sui siti da visitare
 - Informazioni meteo personalizzate
 - Pianificazione itinerari multimodali



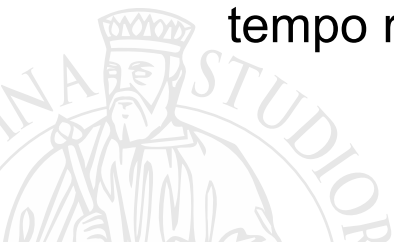
I servizi per il trasporto pubblico

- Per gli utenti
 - Tempi di attesa alla fermata in tempo reale
 - Itinerari di trasporto pubblico in tempo reale
 - Bigliettazione smaterializzata
- Per il gestore della flotta
 - Conoscere costantemente la posizione dei mezzi;
 - Rilevare difformità, ritardi o anticipi sui piani di viaggio;
 - Segnalare emergenze e blocchi del traffico ai mezzi in zona;
 - Verificare il rispetto delle tabelle di marcia e di sosta;
 - Localizzare mezzi fermi, guasti o rubati;
 - Analizzare statisticamente a posteriori l'andamento del movimento mezzi.



I servizi del futuro per utenti del TPL

- Itinerari dinamici
 - Nel consigliare ad un passeggero il migliore itinerario si considerano euristicamente tutti gli itinerari possibili, alcuni hanno tempi complessivi di viaggi molto simili e potrebbero essere scelti entrambi in funzione di alcune condizioni
 - Conoscendo la posizione del passeggero
 - Conoscendo la posizione di ogni mezzo di trasporto pubblico
 - Stimando correttamente i tempi per ogni mezzo per raggiungere ogni fermata
 - Si può dirigere il passeggero sull'itinerario che è effettivamente il più efficiente
- Controllo, tramite LBS, della validità del biglietto e aggiornamento in tempo reale dell'itinerario dinamico



Servizi per i trasporti a chiamata: taxi, taxi collettivi e simili

- Per chiamare un taxi è necessario fornire la propria posizione:
 - a voce ad un operatore;
 - a voce ad un sistema di riconoscimento vocale;
 - con l'identificazione del numero chiamante da rete fissa;
 - tramite il GPS del proprio cellulare
- Per individuare il taxi più vicino la centrale deve conoscere la posizione di tutti i veicoli
- Per le corse condivise:
 - è necessario conoscere destinazione ed itinerario della corsa e capacità residua disponibile del veicolo;
 - all'atto della chiamata si deve comunicare anche la destinazione così che il sistema sceglie se inviare un nuovo veicolo o deviarne uno già parzialmente occupato.



Le tecnologie dell'automazione e loro applicazione al TPL e non solo

- Le filosofie dell'automazione
- I servizi di trasporto già realizzabili
- Pro e contro di ognuno
- I minibus automatizzati su strada dimostrati tra il 2014 ed il 2016 dal progetto Europeo CityMobil2
- Il problema di sicurezza e responsabilità dell'automazione
- La sicurezza delle infrastrutture
- Il futuro del trasporto



Perché serve automatizzare gli autoveicoli?

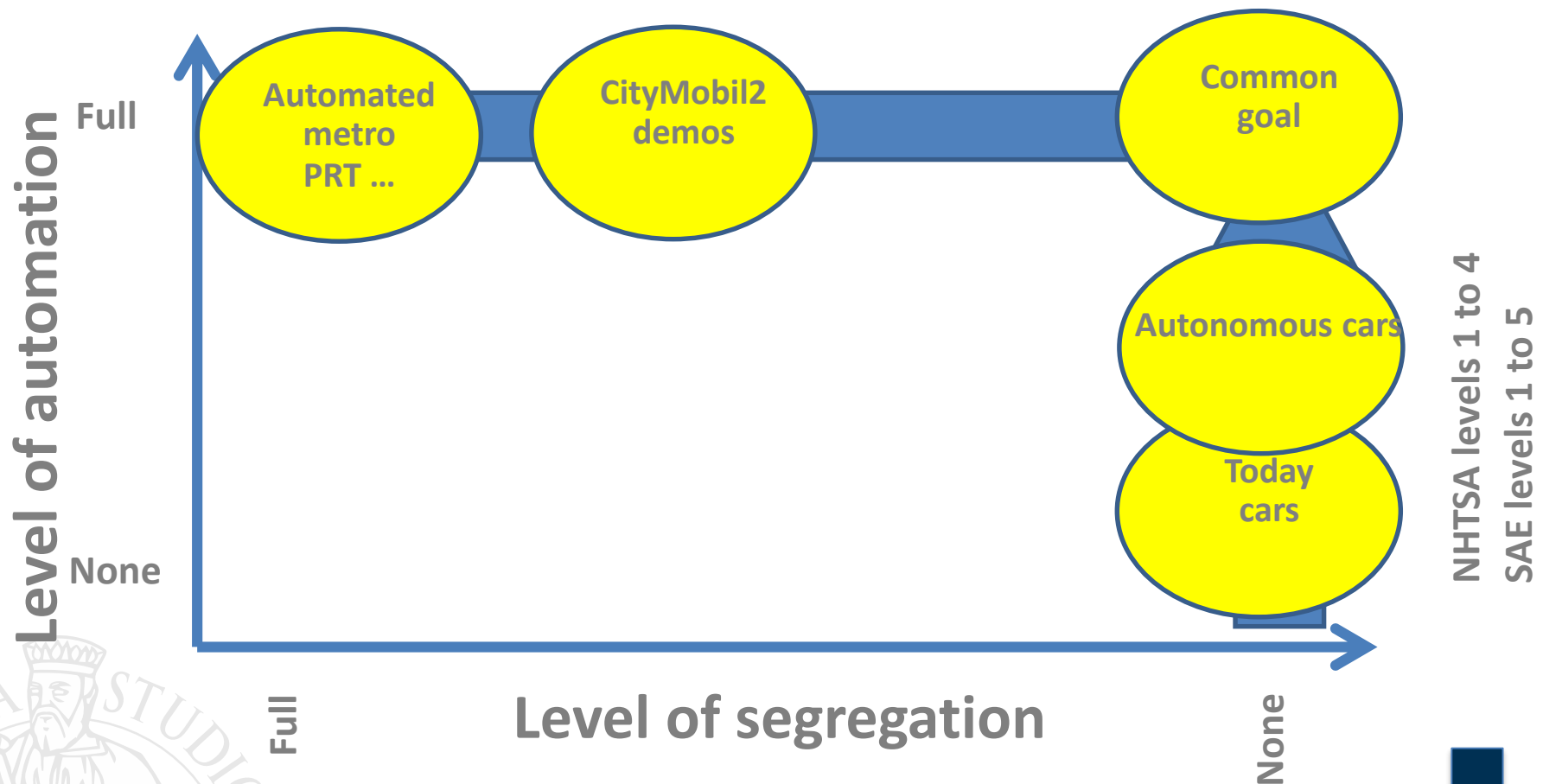
- Sicurezza?
 - Non è certo, dipenderà da quanto il veicolo automatico sarà affidabile, da quanto gli sarà insegnato a rischiare e dal fatto che la sua presenza aumenti o meno il numero di veicoli circolanti
- Capacità?
 - Ad oggi i veicoli automatici mantengono distanze «di sicurezza» superiori
 - In futuro forse grazie al platooning si potrebbero ottenere densità di traffico maggiori
 - Solo la condivisione del tragitto (ride-sharing) aumenta effettivamente la capacità
- Energia?
 - Ad oggi la stima EPA dice da -50% a +200% ... incerto

E allora perché automatizzare gli autoveicoli?

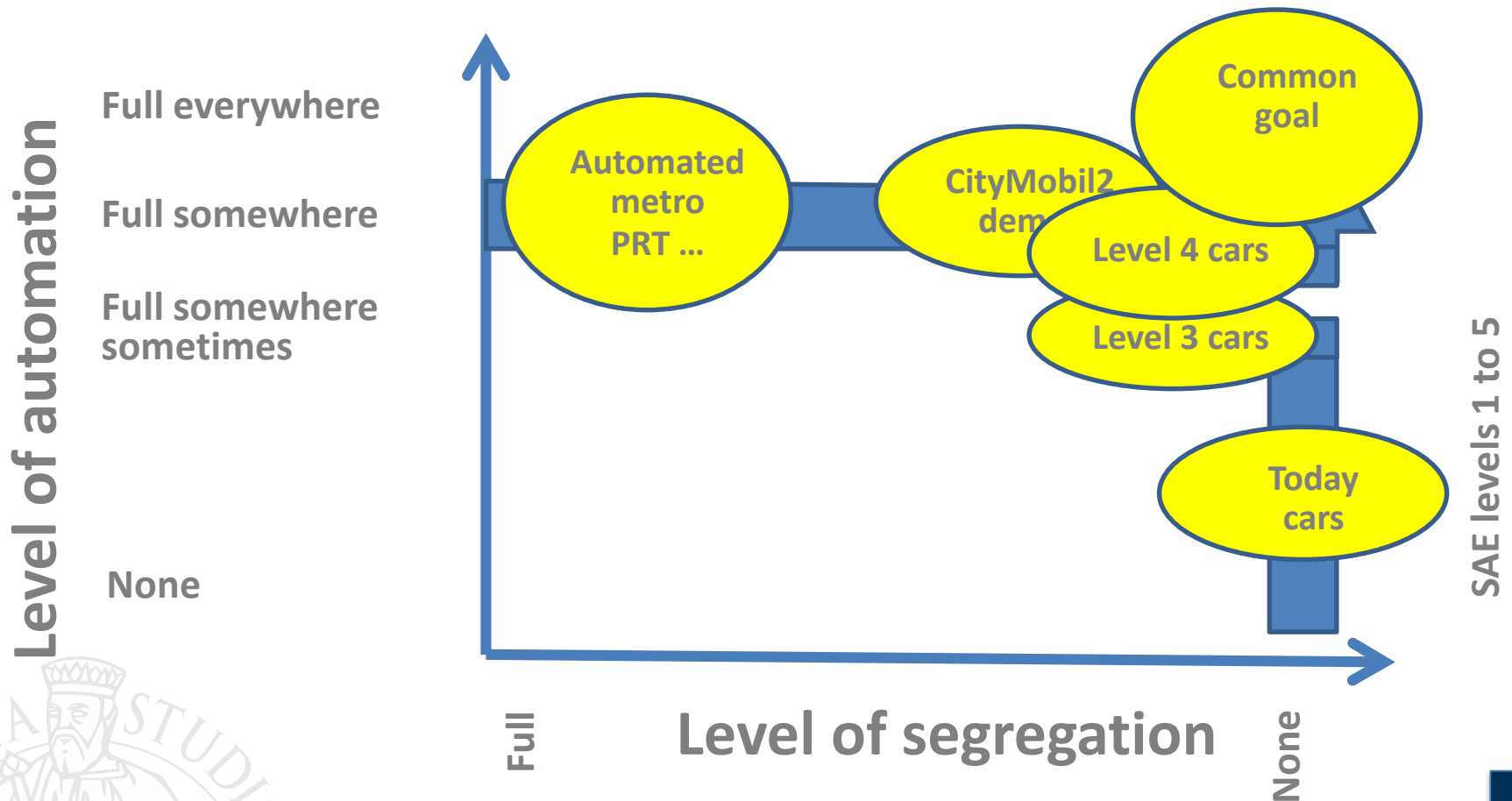
- Perché altri operatori economici vogliono una fetta della «torta» oggi riservata ai costruttori di auto
 - Offrendo servizi di trasporto anziché beni
 - Trend già iniziato con UBER, BlaBlaCar e il car-sharing
 - Per vendere sui veicoli tanti altri servizi
- Perché gli OEM devono difendere il loro territorio
 - Rafforzando il paradigma 1 individuo = 1 auto
 - Offrendo al contempo soluzioni alternative al possesso ma sempre totalizzanti (es. car2go CarCloud, ...)
 - Offrendo forme parziali di automazione che rendano il cliente sempre più fedele all'auto individuale
- Insomma una guerra



Due diverse strade verso l'automazione



Che recenti sviluppi hanno modificato



In pratica cosa si dovrebbe fare nel 2020

- Nel dominio del trasporto pubblico e condiviso
 - CyberCars (TPL di ultimo miglio su infrastrutture selezionate e certificate)
 - High speed busses su corridoi dedicati
- Nel dominio del veicolo privato
 - SAE level 3 high speed highway chauffeur
 - SAE level 4 Low speed Parking Garage Pilot
- I TNC come UBER Waymo e gli altri
 - Volgiono fare il taxi automatizzato (Livello5)

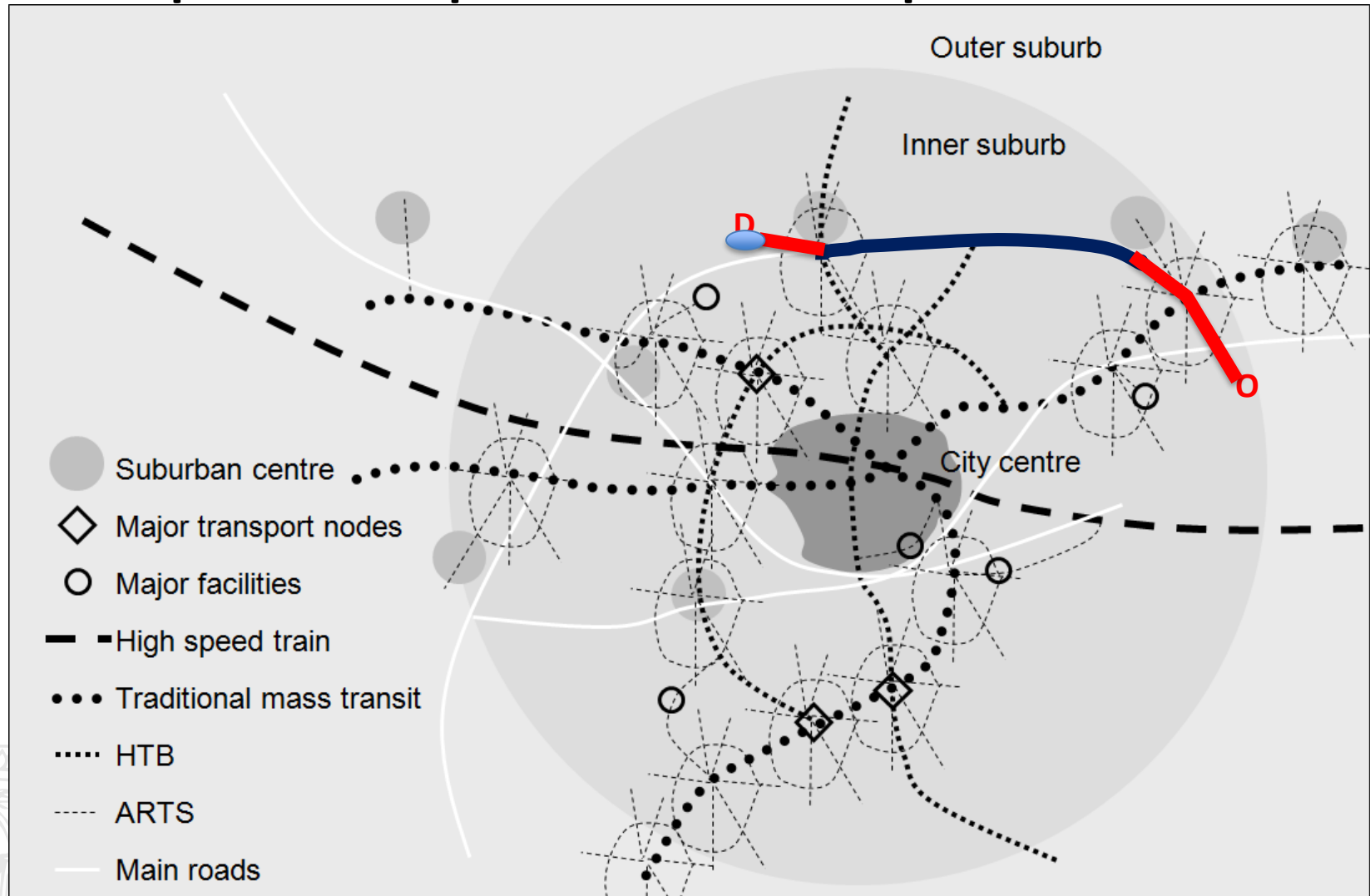


A new private transport mode: the perfect private transport

In periphery-to-periphery daily commuting trips

- The commuter drives her vehicle only for the first mile from her house to the first motorway junction
- the vehicle then drives itself with the highway chauffeur automation function allowing her to work on her computer, to do shopping on line, to entertain, or whatever else.
- When reaching the end of the motorway stretch of her trips she will need to resume control and drive from the last motorway junction to her destination.
- She will drive to the front door of her destination and alight there from the vehicle which goes to park itself using the SAE level 4 Low speed Parking Garage Pilot automation function.

The perfect private transport



Driving to work in the morning



Parking the car at your destination



Pros and cons

- Pros
 - The driver can sustain a longer journey and more traffic as she is doing other activities while driving
 - New economy for the on-board services will start or productivity will increase
 - More vehicles (and more expensive) will be sold with good effects on the traditional industry economy
- Cons
 - More low occupancy trips will be made increasing VMT (with all its consequences)
 - Parking restrictions will cease to be a demand management tool for cities
 - public transport ridership will decrease reducing even more its income/costs ratio

A new public transport mode: the perfect public transport

In medium demand peripheries of large cities

- Commuters book the morning ride to the closest train station through an APP
- The APP either gives time and place for the pick-up or the parking place of the car to drive
- One customer drives the others
- The car is left at the station from where it goes to relocate itself either by full automation at «shuttle speed» or following a leader and forming a platoon.
- If there is no close station to go to road corridors are established for high speed platoons to an interchange

Pros and cons

- Pros
 - With ubiquitous systems the entire public transport in the city becomes **capillar**, **timely** and **fast**
 - Even if not profitable services even in low to medium demand areas becomes financially neutral
 - New business models can start
 - Vehicle occupancy will grow significantly decreasing VMT with its consequent impacts
- Cons
 - Less private car use will most certainly translate into less private cars owned with all its economic consequences

CityMobil2 Selected demo sites



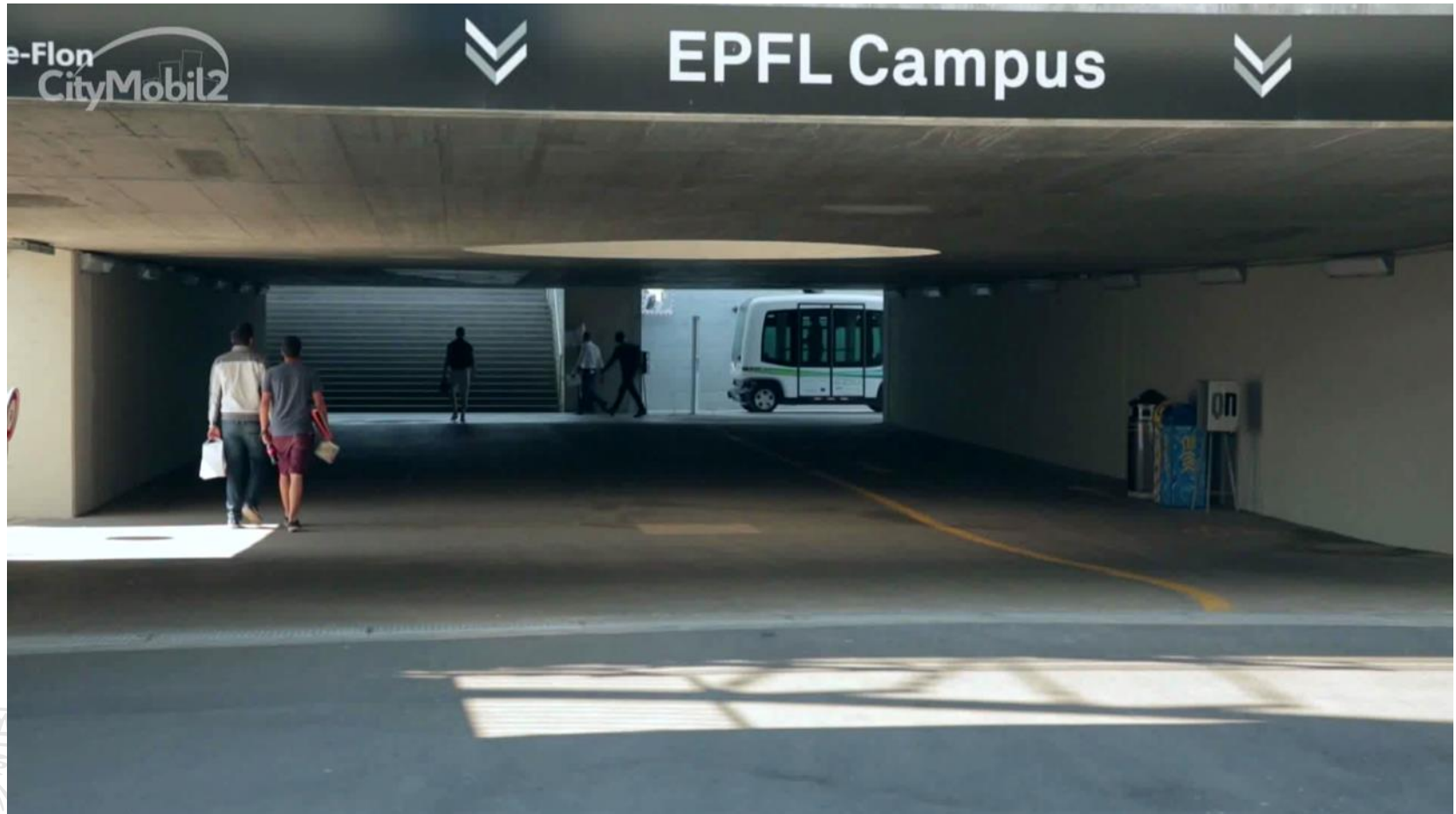
The news video of the Oristano demo



December 2014 inauguration of La Rochelle CityMobil2 ARTS demonstration



CityMobil2 – Lausanne demo



Vantaa



Trikala



Il famoso incidente di UBER



ATTENZIONE

LE IMMAGINI CHE SEGUONO
POTREBBERO URTARE LA VOSTRA SENSIBILITÀ

Quali gli errori?

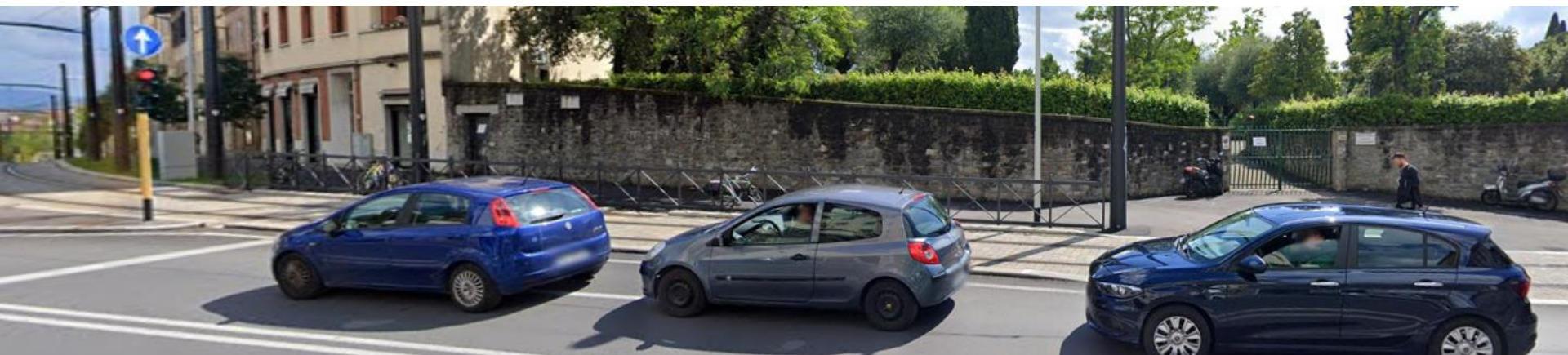
- Del conducente di sicurezza
 - Non guardava avanti
 - Non era reattiva
- Del veicolo
 - Non ha individuato il pedone per tempo
 - Non ha reagito nemmeno nell'imminenza dell'impatto
- Dell'infrastruttura
 - Consente gli attraversamento
 - E anche l'alta velocità
 - E anche il sorpasso

Guardiamo la Tranvia di Firenze



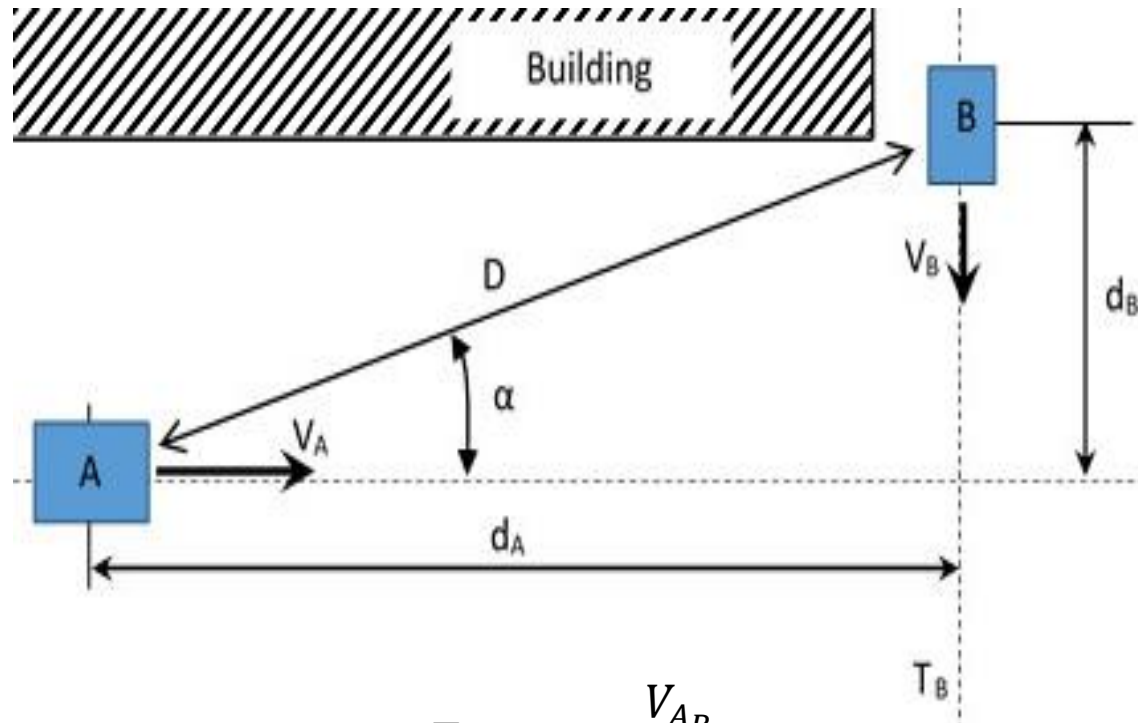
- Perché c'è il prato a sinistra tra il marciapiede e la sede tranviaria?

Ancora la Tranvia poco più avanti



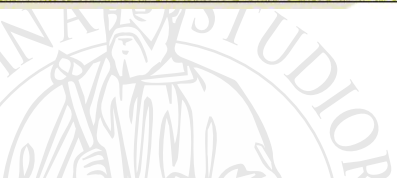
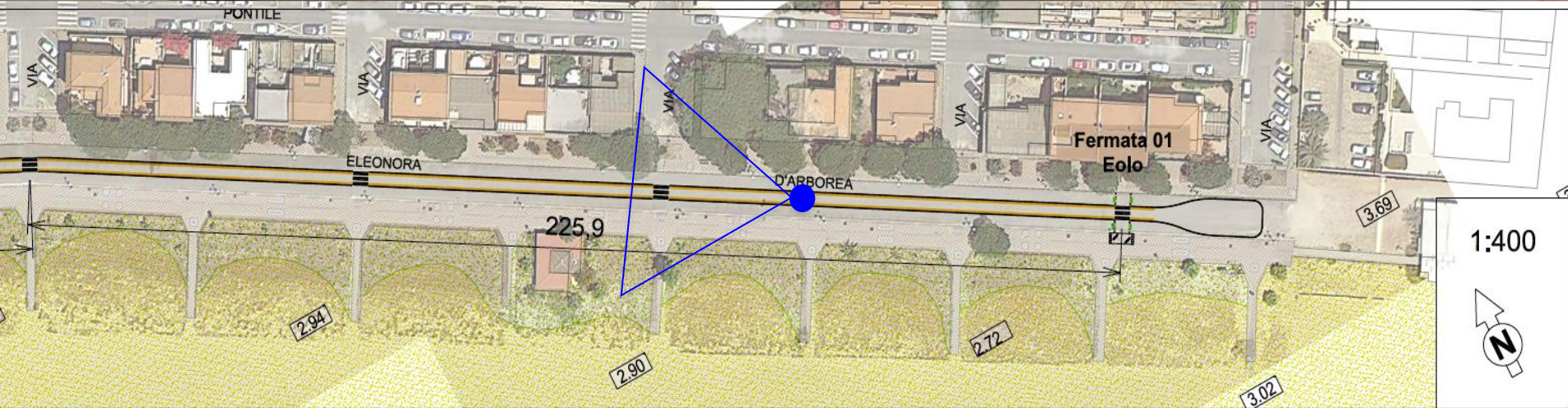
- Perché ora c'è una barriera tra il marciapiede e la sede tranviaria?
- E poi perché la barriera finisce e (anche senza zebra) non si impedisce l'attraversamento?

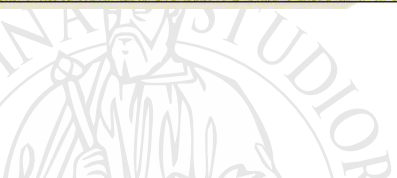
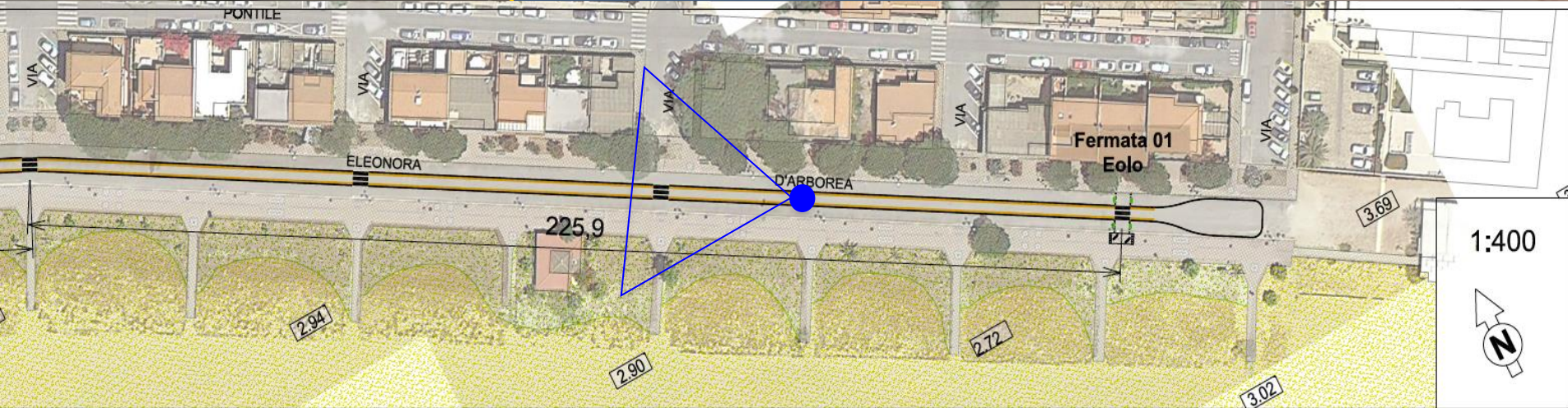
Come si rende sicura l'infrastruttura

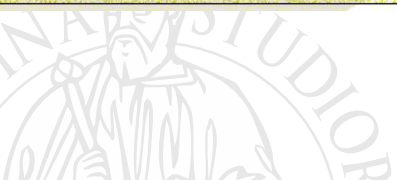
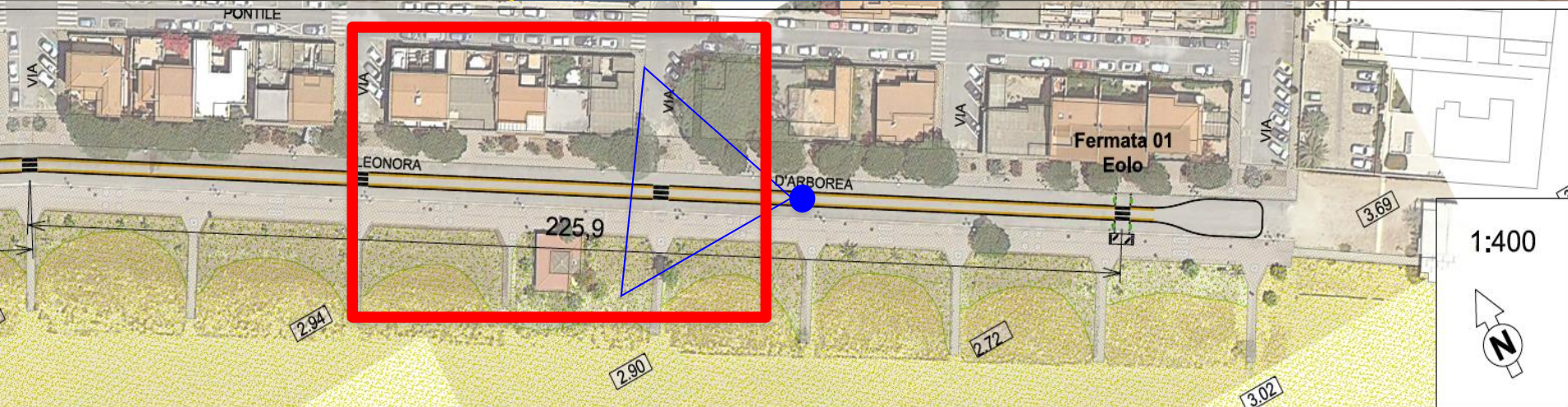


- Time to collision T_c is
$$T_c = t_R - \frac{V_{AR}}{a}$$
- And the vehicle velocity is calculate as
$$V_{AR} = a \cdot t_R - \frac{a \cdot d_B}{V_B}$$

— a = vehicle acceleration (negative when braking)







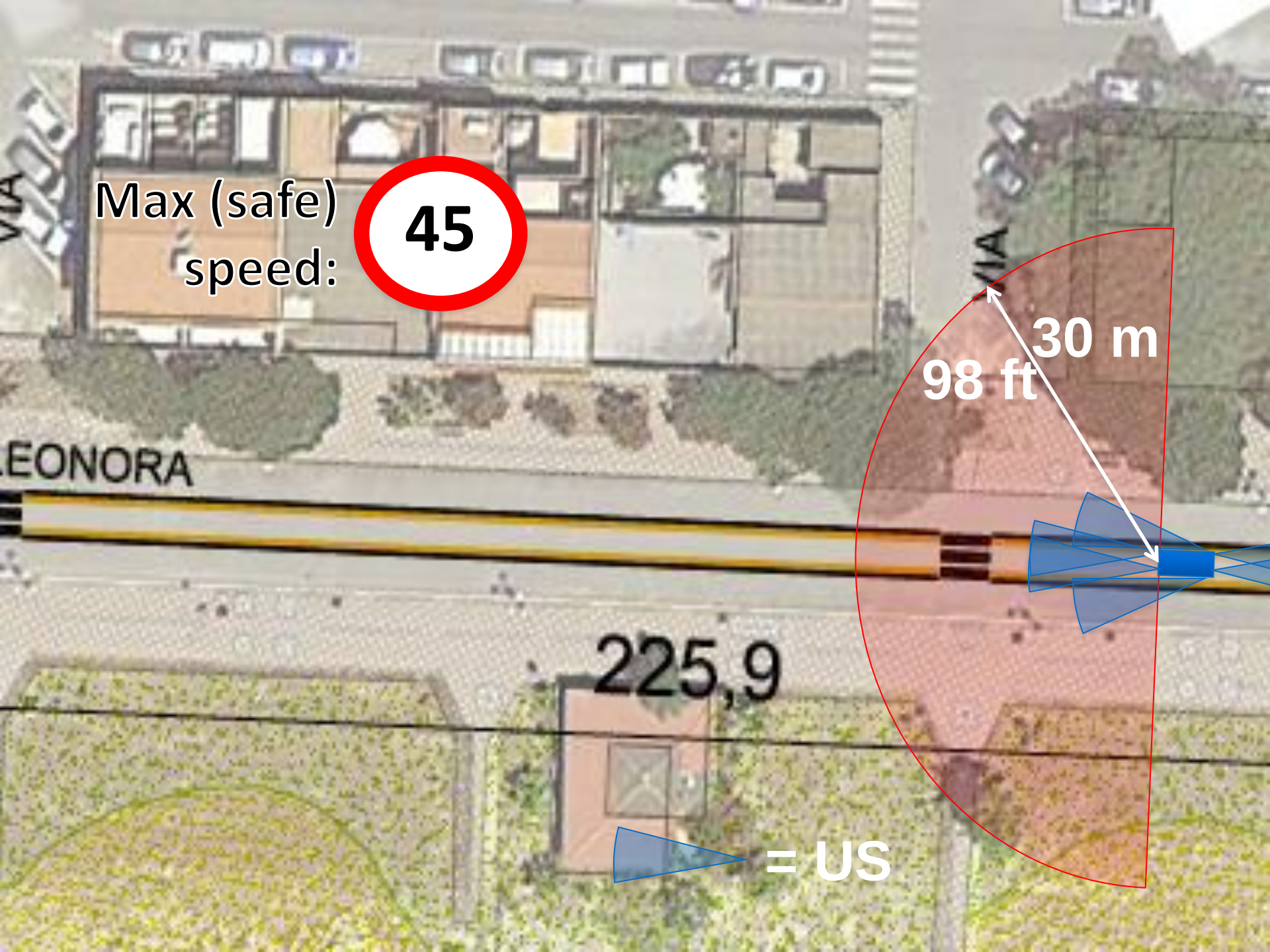
Max (safe)
speed:

45

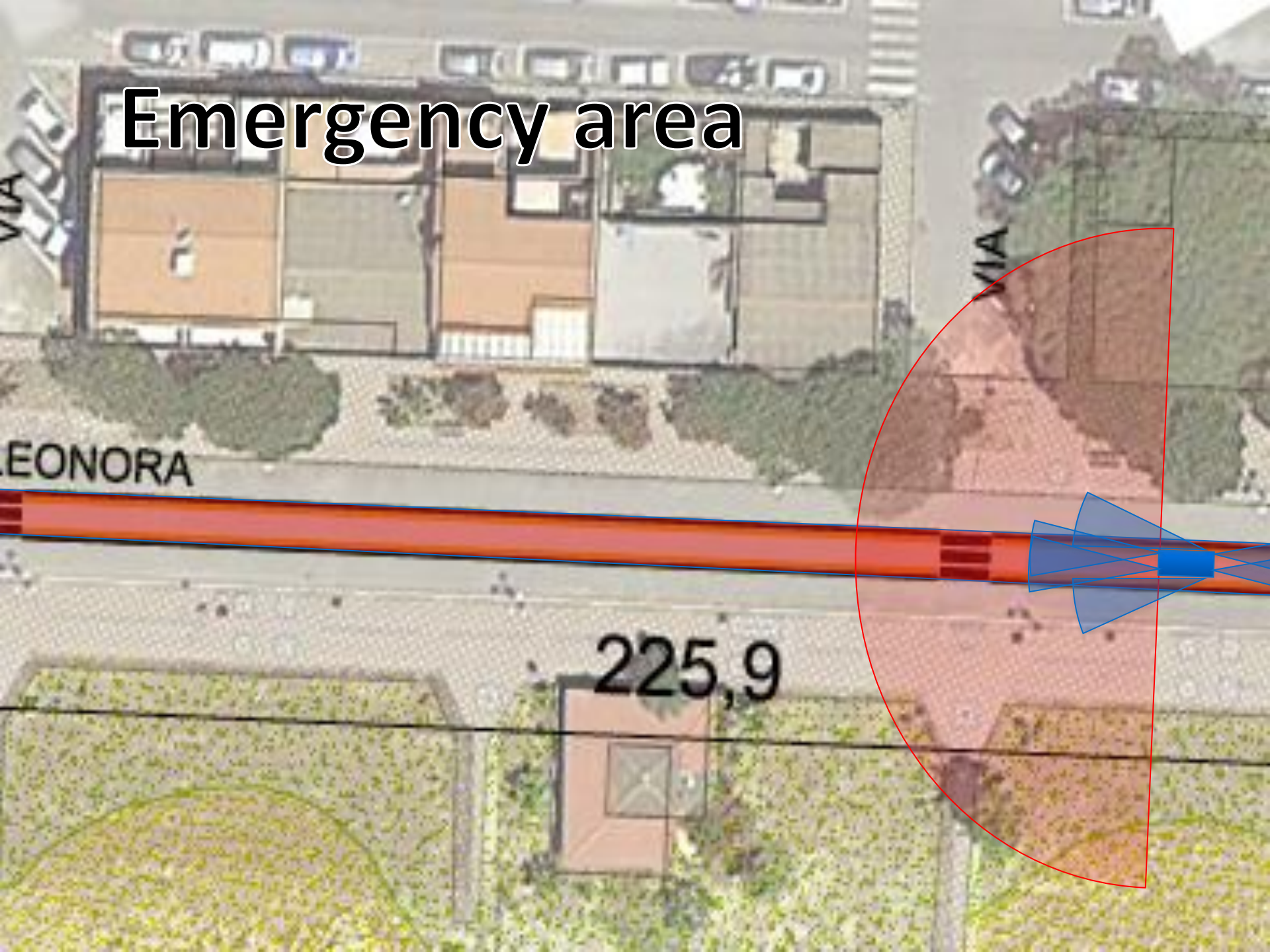
30 m
98 ft

225,9

= US



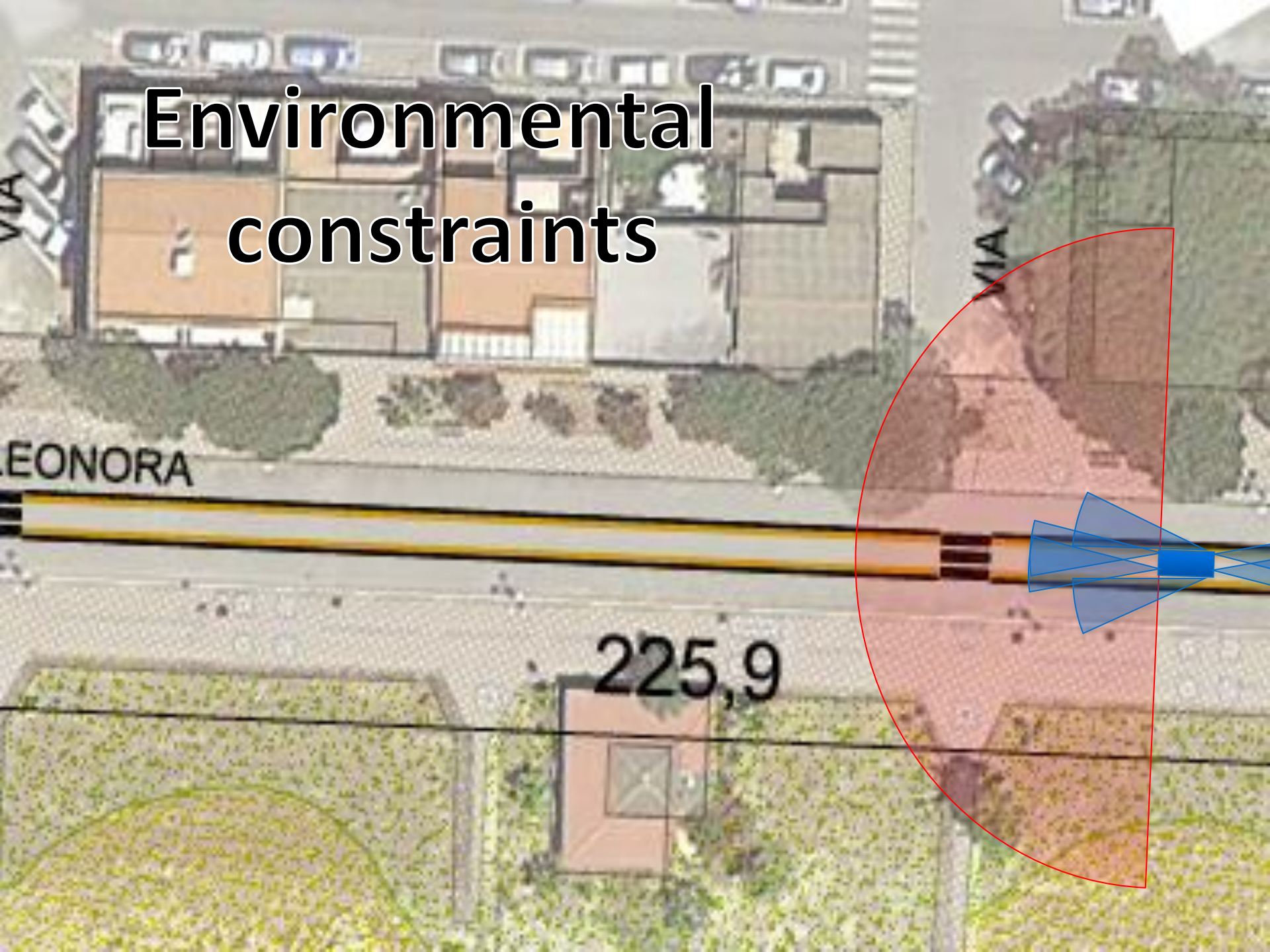
Emergency area

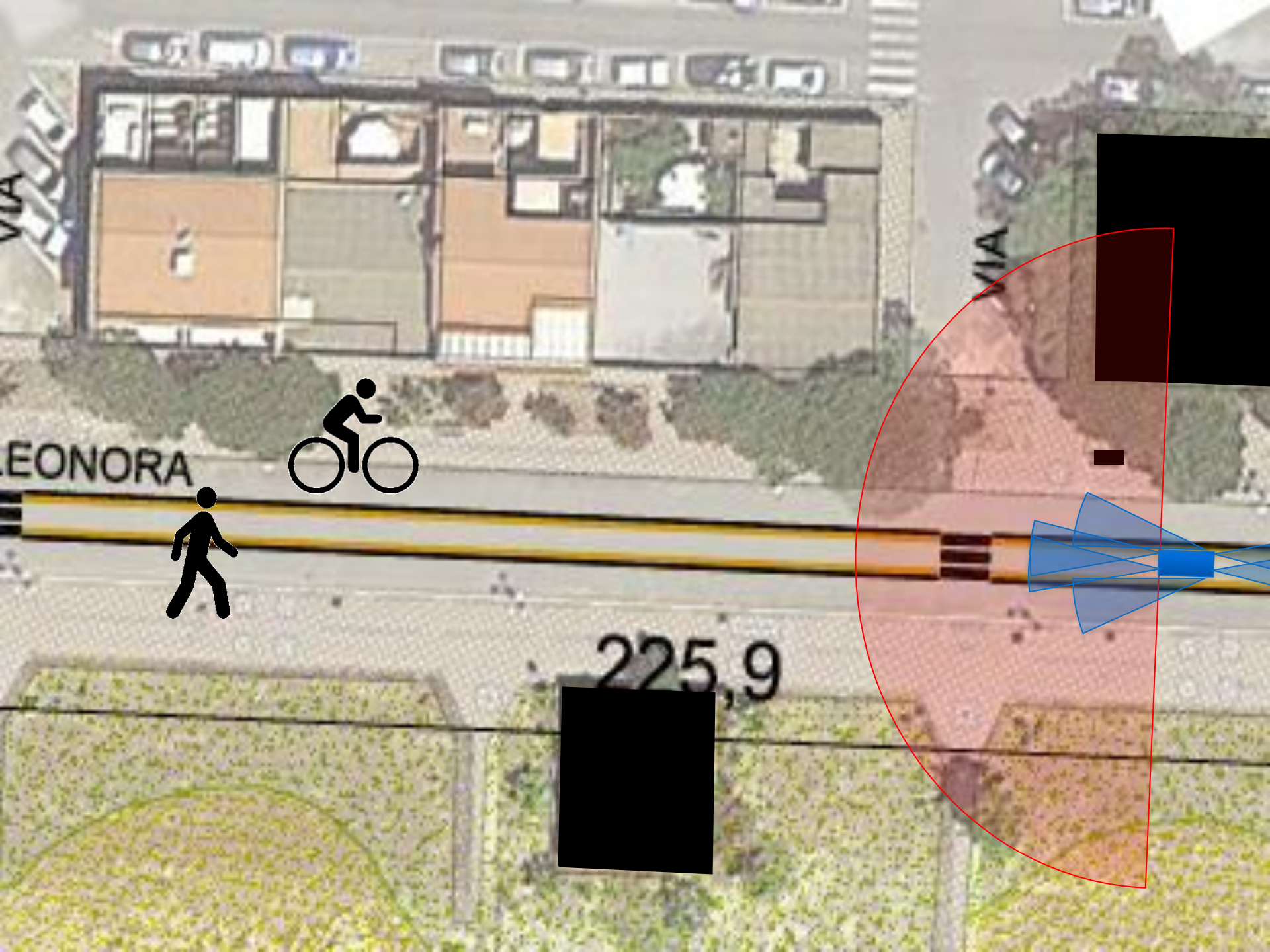


Safety area



Environmental constraints

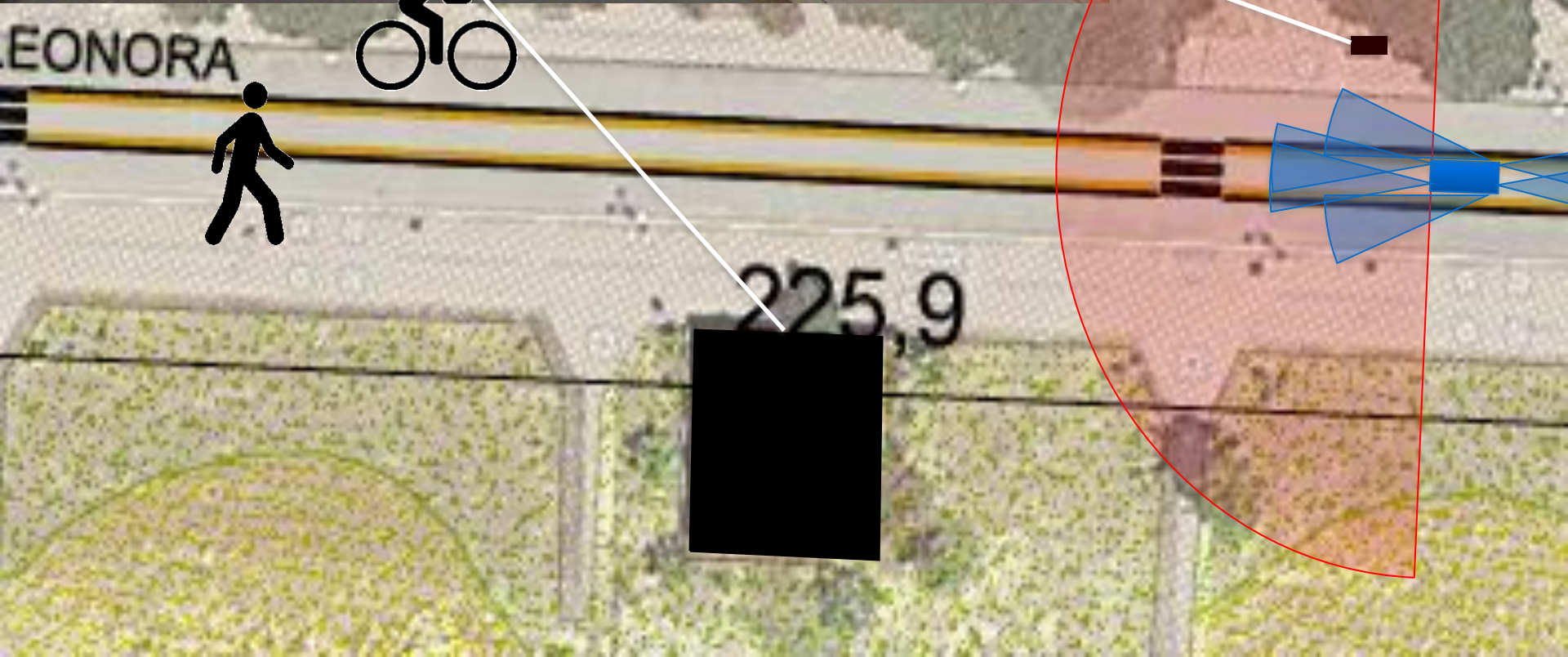




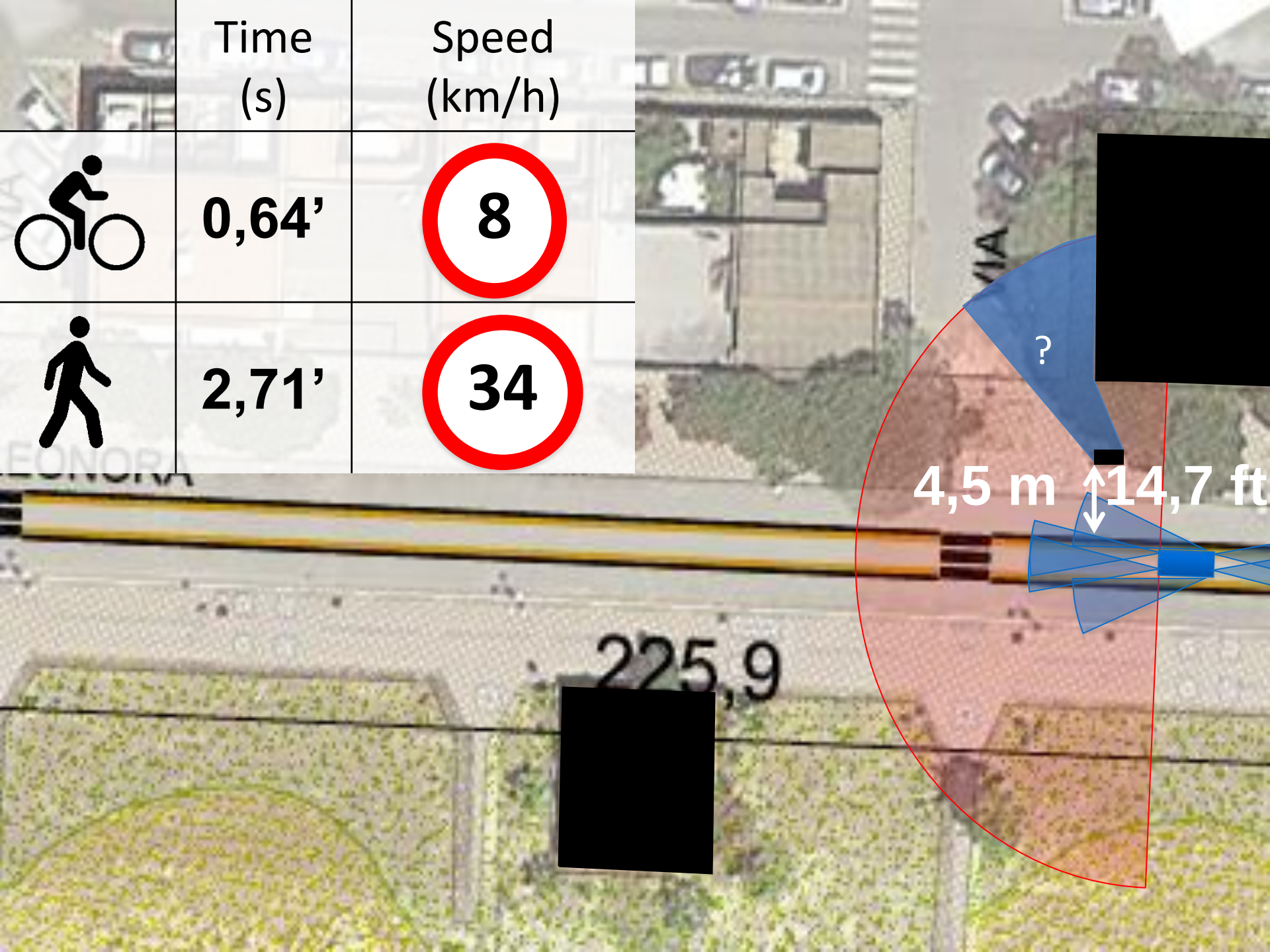
VIA EONORA

VIA

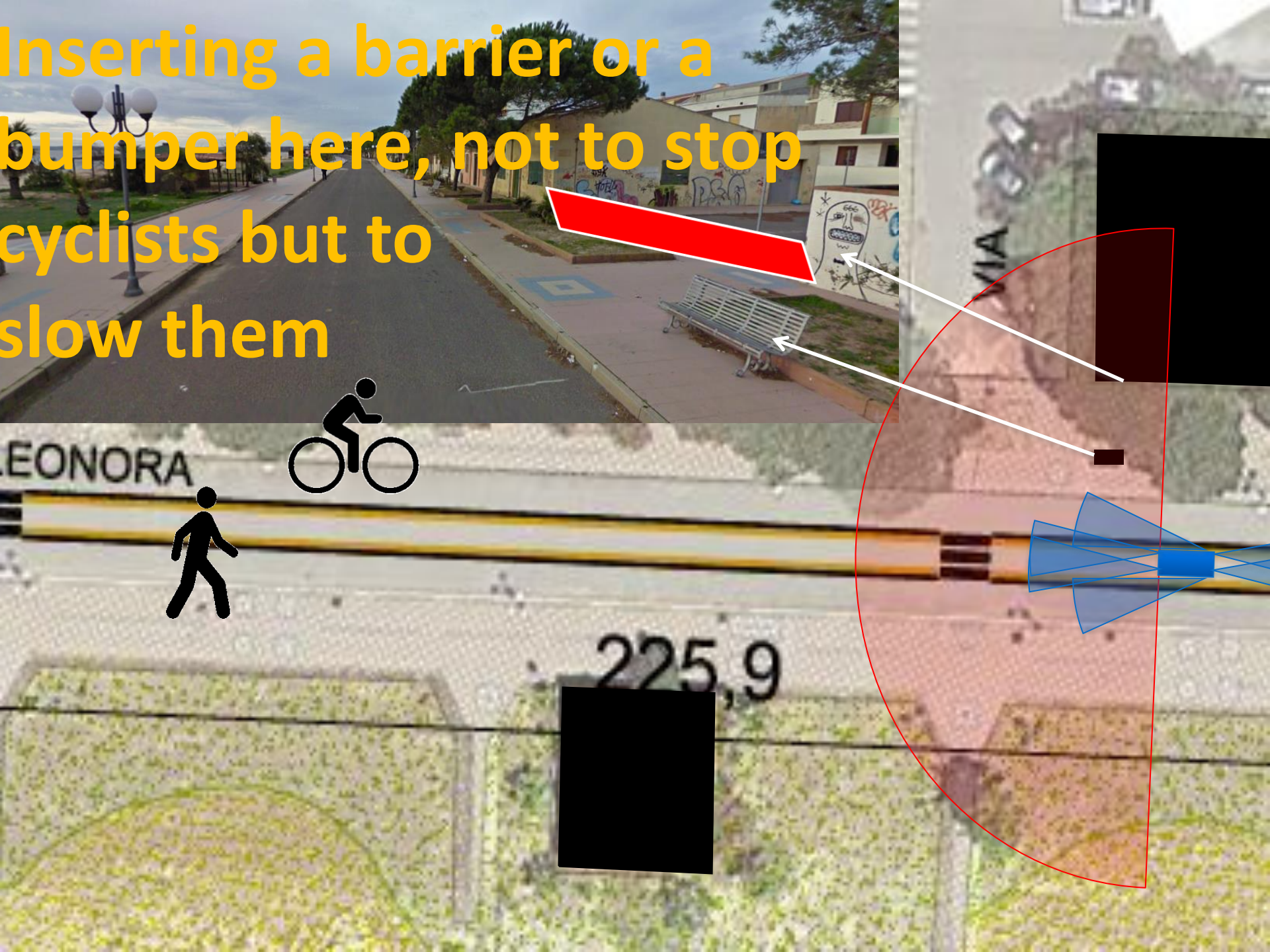
225,9



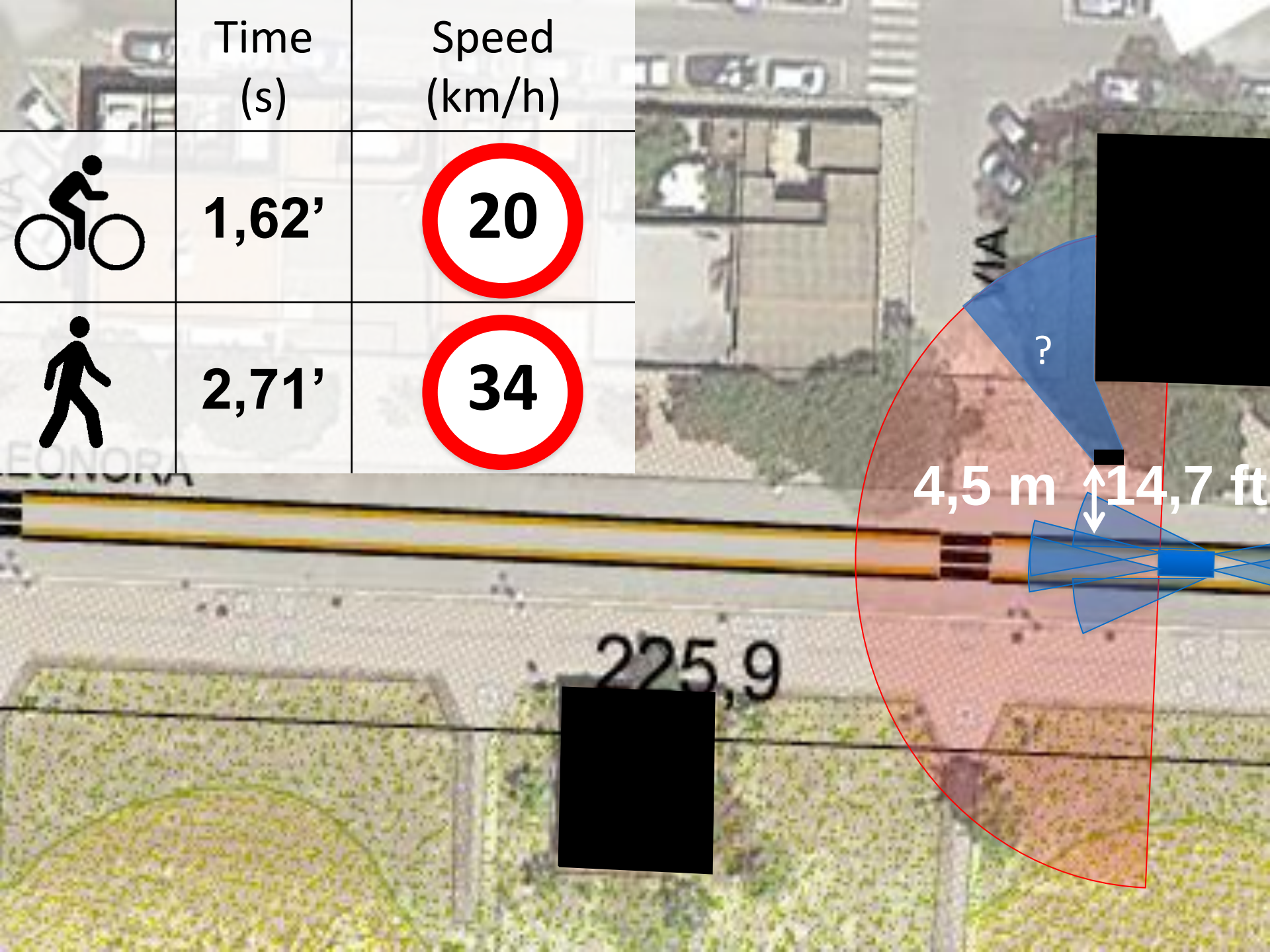
	Time (s)	Speed (km/h)
	0,64'	
	2,71'	



Inserting a barrier or a bumper here, not to stop cyclists but to slow them



	Time (s)	Speed (km/h)
	1,62'	
	2,71'	



4,5 m ↑ 14,7 ft

?

Quali sono i vantaggi e problemi di questa logica?

- Vantaggi
 - La sicurezza con un approccio integrato che risolve anche gli atavici problemi delle infrastrutture
 - La sicurezza certificabile che garantisce che il veicolo automatizzato non abbia mai colpa in un incidente a meno di cedimenti
- Svantaggi
 - Poca flessibilità
 - Distribuzione delle responsabilità di progettazione, gestione e manutenzione



Come si traduce in pratica per l'infrastruttura: esempio olandese



Come si traduce in pratica per l'infrastruttura: esempio giapponese



But what is it an ARTS and how does it differ from a Google car

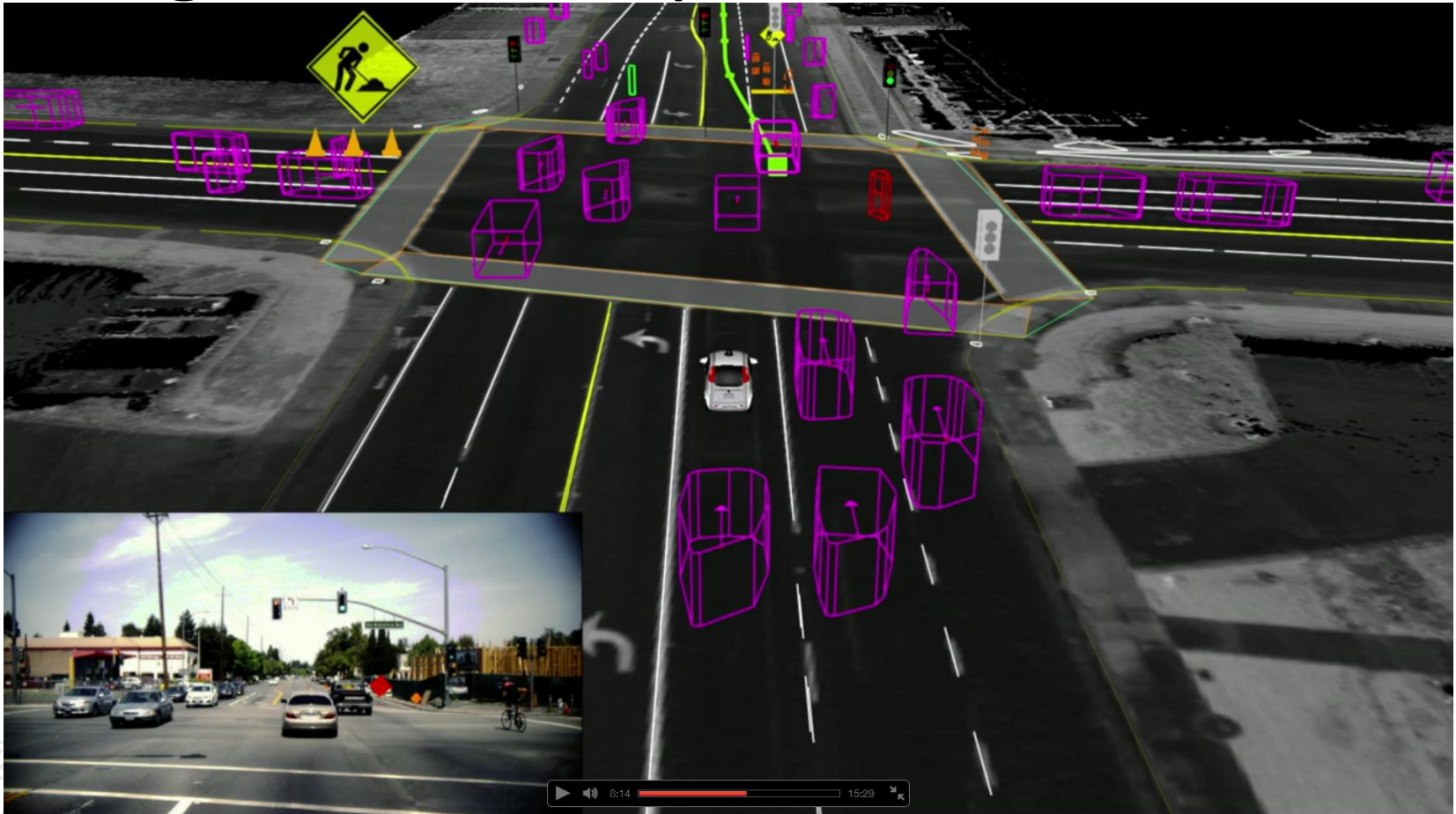


- Individually used cars
- Door-to-door
- From anywhere to anywhere
- Using any infrastructure
- No supervision
- Ride-shared vehicles
- Multimodal
- On pre-selected routes
- Only on certified (adapted) infras
- Full supervision

How does it translate in technical terms

- Dealing with failures
 - Redundancy vs. fail safe
- Dealing with other users
 - Forecast user behavior vs. integrated safety assessment
- Dealing with external problems
 - Recognizing police and roadworks vs. communicating with the control room

Using Chris' example



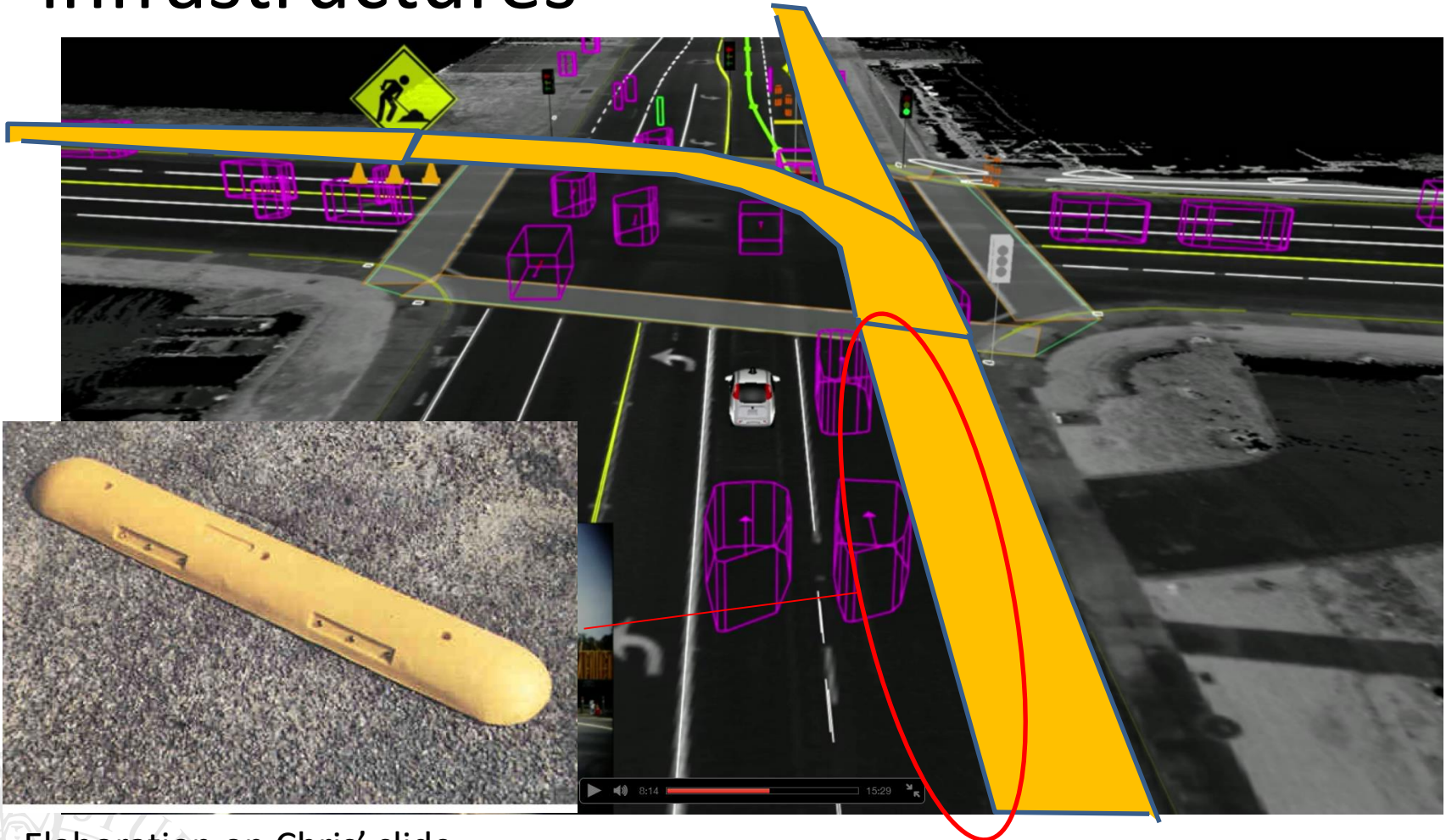
Source: Chris Urmson presentation at TED

What the Google car needs to do

- The Google car needs to continue to work even when something is malfunctioning
 - Redundant energy supply
 - Redundant actuators ...
- It needs to detect everything on its own
 - The roadworks ahead (or eventually policemen and school busses)
- It predicts other user behavior



What ARTS would have done on infrastructures



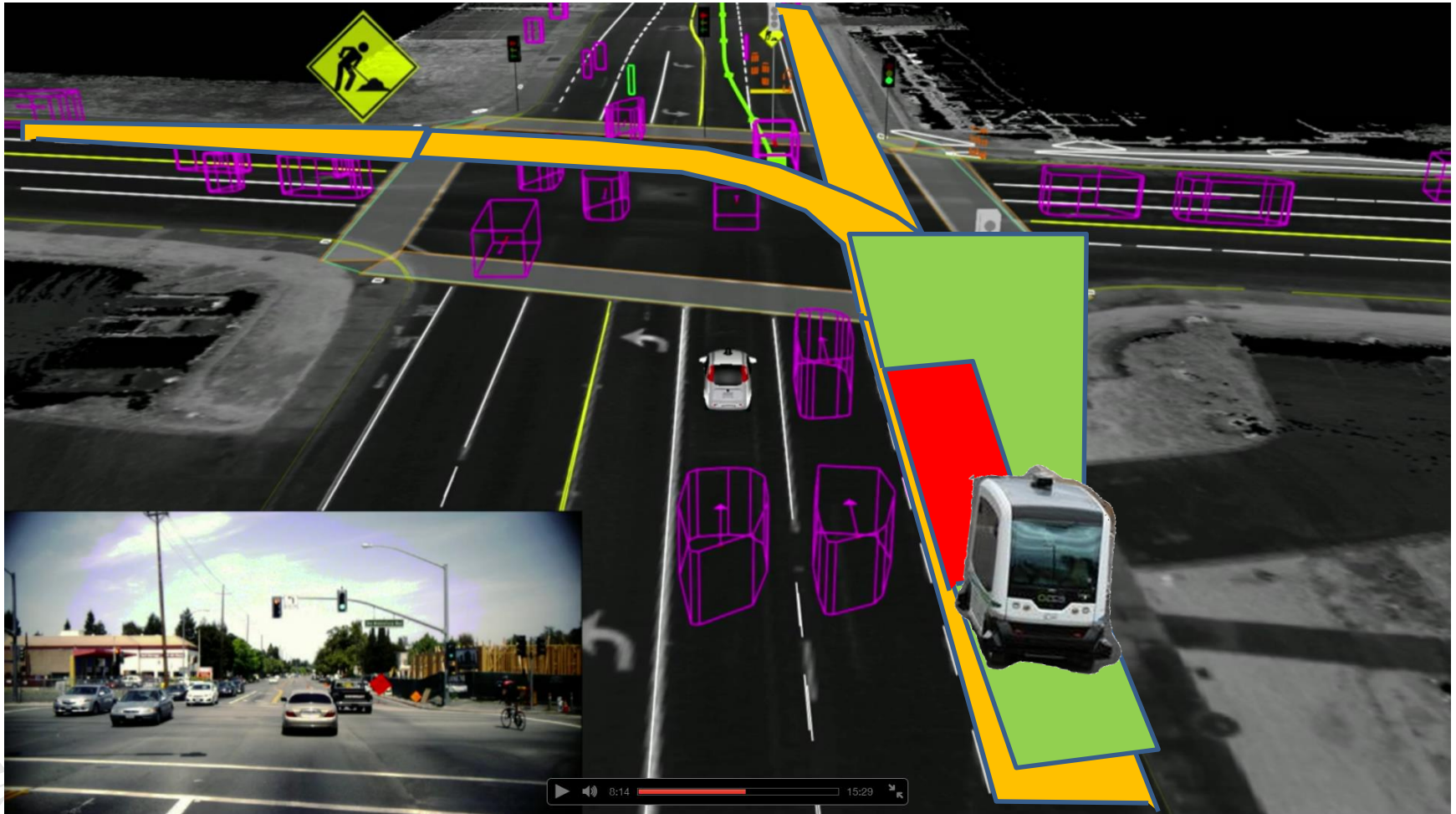
Elaboration on Chris' slide

Which work on infrastructures

- Introduced an ARTS certified lane
 - with dedicated aspects in the light-cycle
 - with some protection
 - either hard barriers
 - or softer ones depending on the speed of the flow
- Allow manual vehicles on the ARTS lane forcing on them some rules
 - No-stopping, no-parking, no-overtaking
- Verified the distance to other moving and fixed obstacles and measured the time to collision and set the maximum speed of the vehicle on this basis
- Eventually put speed-bumps to slow down incoming vehicles on conflicting paths or sensors in the infrastructures to detect wrongdoing and preventing accidents



What ARTS would have done on vehicle and control



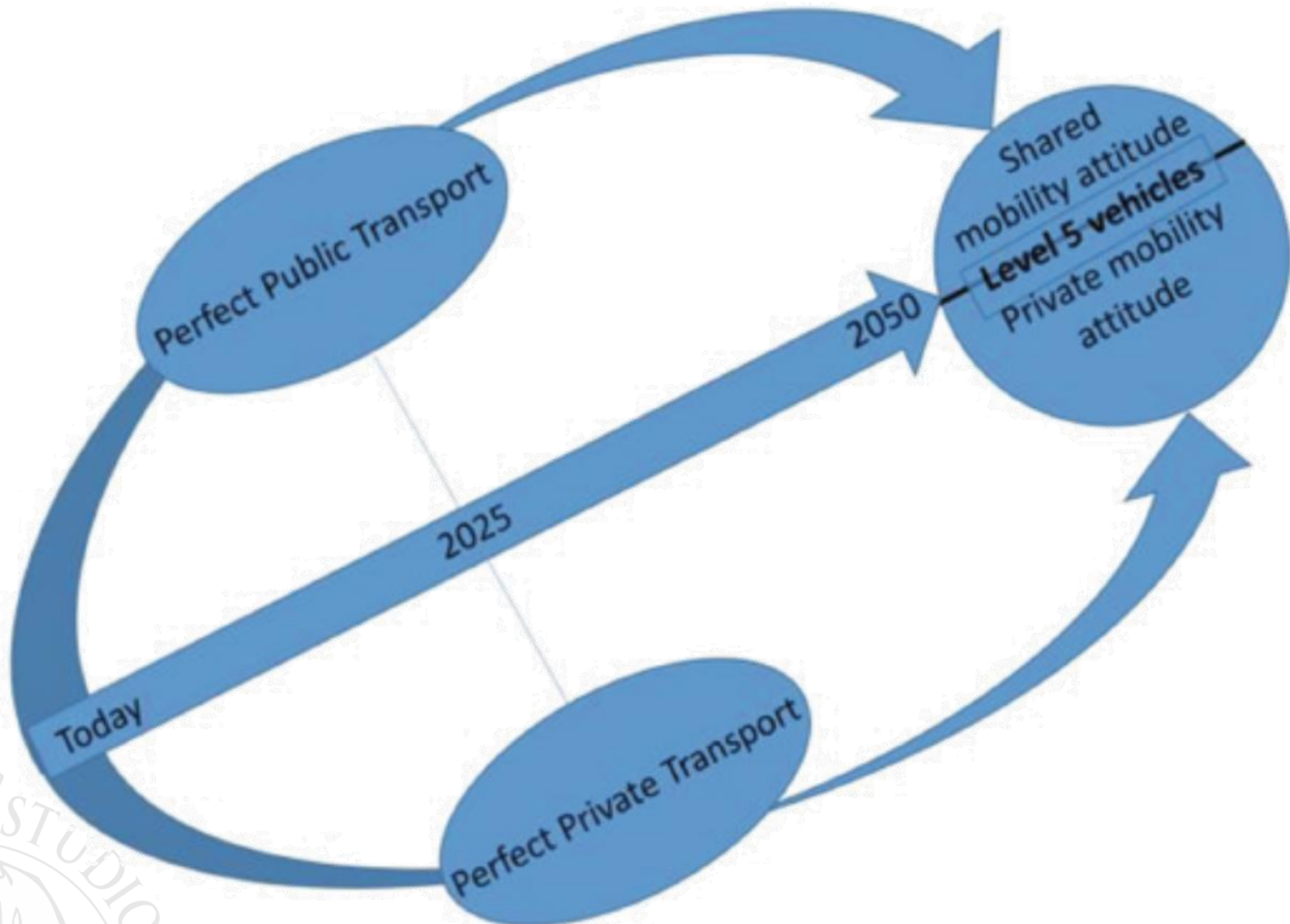
Elaboration on Chris' slide

Which differences on vehicle and control

- Two dumb safety areas
 - The first (red) to trigger an emergency stop
 - The second (green) to induce a deceleration
- No software to forecast
- Pre-actuated brakes which need electricity to be de-actuated
- Respect of a pre-assigned trajectory
- Communication from the control room of any change of plan



The importance of the path



Mescoliamo un po' tutto

- Un autista che riposiziona molti veicoli (platooning o Convoying)
- Un solo autista su un convoglio di minibus (il bus a sfioccamento)
- Ricarica rapida, ultrarapida e in linea per azzerare i tempi di ricarica per il trasporto pubblico (e automatico)



Il platooning

- Ossia un guidatore che guida più veicoli contemporaneamente
- Per riposizionare i veicoli lasciati dove non servono al momento in posizioni in cui sono più utili



Il Platooning può aiutare a realizzare servizi di trasporto nuovi: CRISTAL

- Il veicolo è in car-sharing nei momenti di morbida
- Diventa un tram nelle ore e nelle direzioni di punta
- Un guidatore conduce un plotone di veicoli

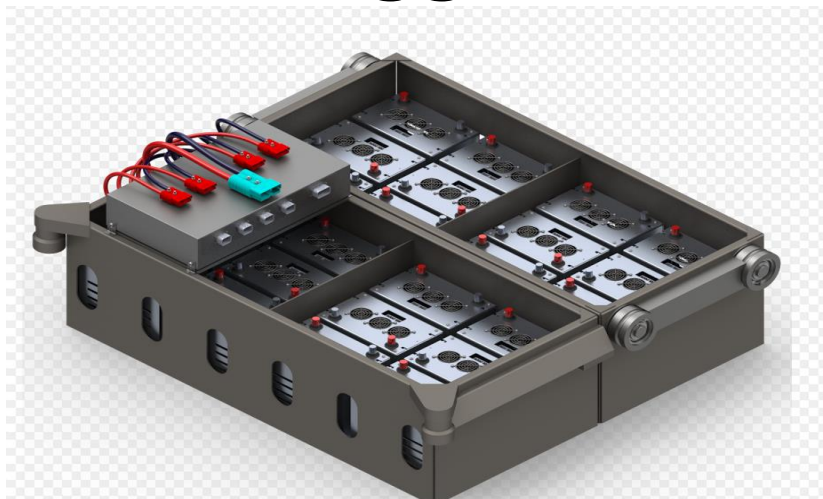


Altri sistemi resi possibili dalle nuove tecnologie

- Visti tutti i sistemi di trasporto esistenti oggi, e le tecnologie abilitanti, è possibile idearene di nuovi
- L'obiettivo è realizzare sistemi che si autosostengano finanziariamente senza andare a detrimento della sostenibilità
- Alcune idee per nuovi sistemi di trasporto
 - Bus elettrici a ricarica rapida
 - CAR+RIDE sharing
 - Bus a sfioccamento
 - Veicoli multifunzione
- Le variabili da considerare
 - a livello politico
 - a livello umano
 - a livello tecnico



Il bussino elettrico a biberonaggio



	Convenzionale	Biberonaggio
• Electric motor	24.5 kW (72 V DC);	same
• Energy available	39 kWh (Pb-Acid);	17 kWh (Li-ion);
• Recharge time	8 hour with 5 kW charger;	25 minutes with 43 kW charger
• Weight (batteries + support box)	1500 kg;	2.5 minutes for 15 minutes trip
• Range	75 km	650 kg
		30 km

Vantaggi e svantaggi del bussino a biberonaggio rispetto a quello convenzionale

- Vantaggi
 - Ha un'autonomia virtualmente illimitata grazie alla possibilità di ricaricare in poco tempo
 - Ha la possibilità di effettuare percorsi energivori (prevedendo opportune postazioni di ricarica)
 - Diminuisce i pesi e (forse) i costi delle batterie
- Svantaggi
 - Richiede potenze di ricarica molto più elevate
 - A parità di tensioni le correnti sono molto più elevate con maggiori rischi e stress termici
 - Richiede di effettuare ricarica in loco

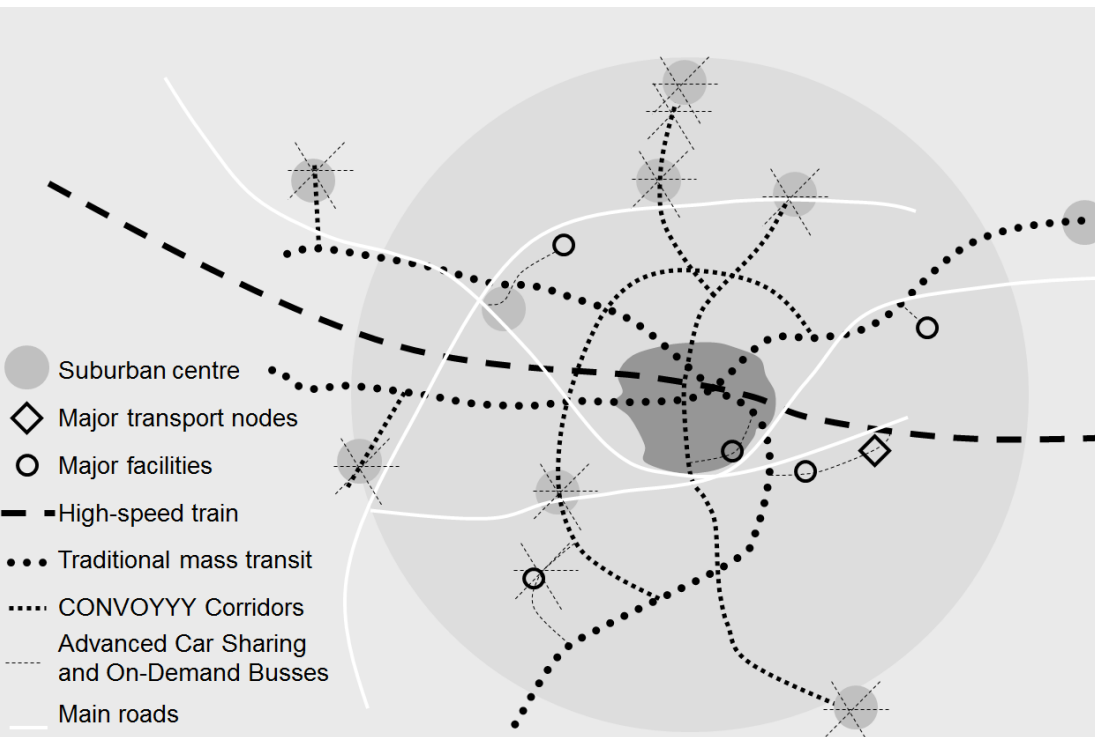


Il servizio a chiamata con minibus elettrici a biberonaggio

- Si chiama (APP) indicando il treno da prendere
- Si riceve indicazione dell'orario di passaggio non proprio sotto casa ma in una delle fermate localizzata a non più di 50 metri da casa
 - Il costo della corsa è di 30 centesimi/pass·km
- Il bus terminata la raccolta a Colleferro centro va diretto alla stazione dove si ricarica 3-5 minuti e riparte per il nuovo giro di raccolta
- Chi viaggia più a lungo (e paga di più) è preso per primo ed ha la garanzia del posto a sedere; chi viaggia più a breve sta in piedi.
- Ogni bus si carica di circa 20 passeggeri per corsa
- Ogni corsa dura circa 15 minuti più 10 di ritorno a vuoto più 5 di ricarica consentendo 2 corse l'ora per veicolo
- Terminato il servizio l'autista lascia il bus in carica e si mette a fare altro (la cooperativa sociale può svolgere anche servizio disabili consegna di pacchetti e spesa di ultimo miglio e una serie di servizi di pulizia e giardinaggio per il Comune)



Il bus a «sfioccamento»



- L'utenza diretta al centro della metropoli è raccolta a domanda con piccoli bus a chiamata.
- Arrivato al corridoio l'autista scende e lascia che il bus si accodi al primo convoglio che passa
- Il convoglio diventa più numeroso avvicinandosi al centro
- Al ritorno anziché fare fermate dal convoglio si stacca solo il bus diretto in zona e viene preso dall'autista in attesa per fare il giro di distribuzione

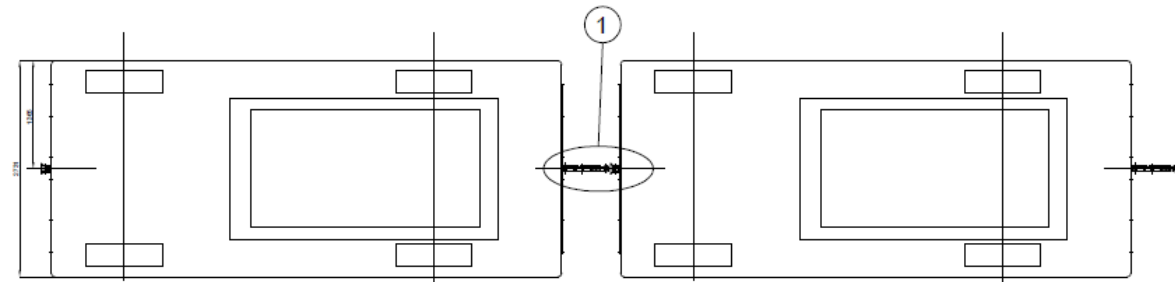
I vantaggi del bus a sfioccamento

- Si usano mezzi piccoli, adatti ai piccoli centri, anche per le lunghe distanze
- Si offre un servizio molto più capillare senza aumentare il numero degli autisti impegnati
- Si evita un trasbordo

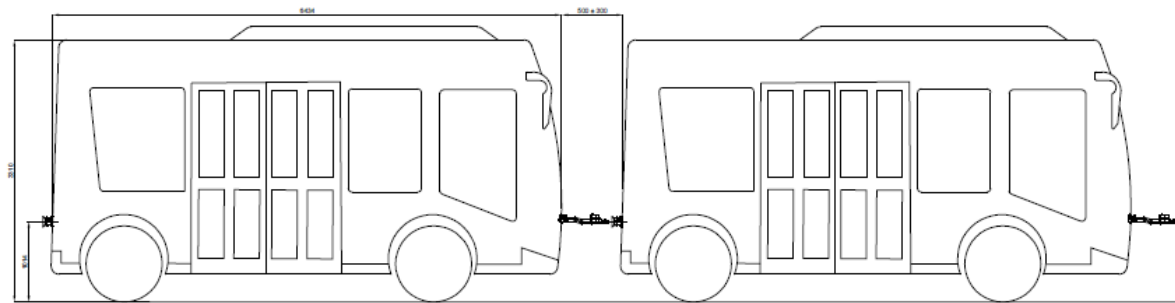


Rendere compatibili i bus a biberonaggio con lo sfioccamento

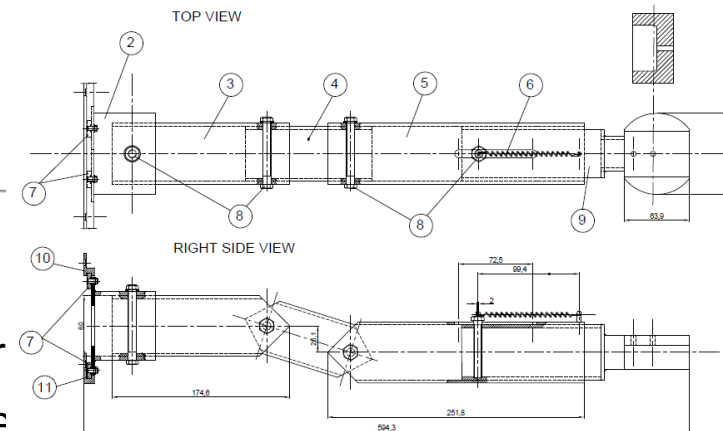
Top view



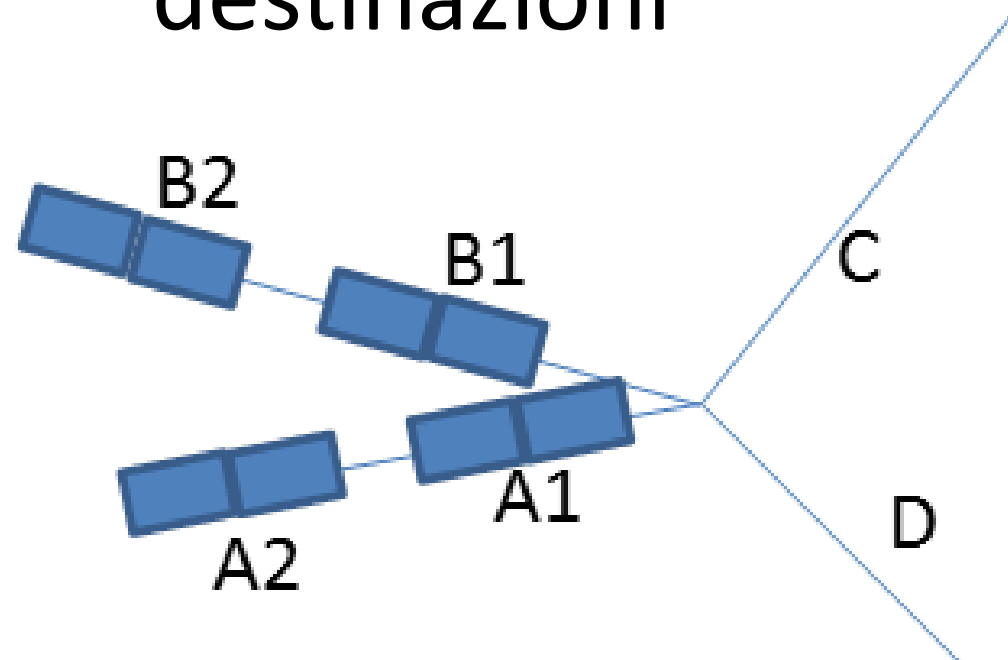
Side view



- Connessioni meccaniche
 - Per rendere possibile la certificazione come tr
 - Per trasmettere energia e ricaricare le batterie



Il merging-diverging per aumentare le destinazioni

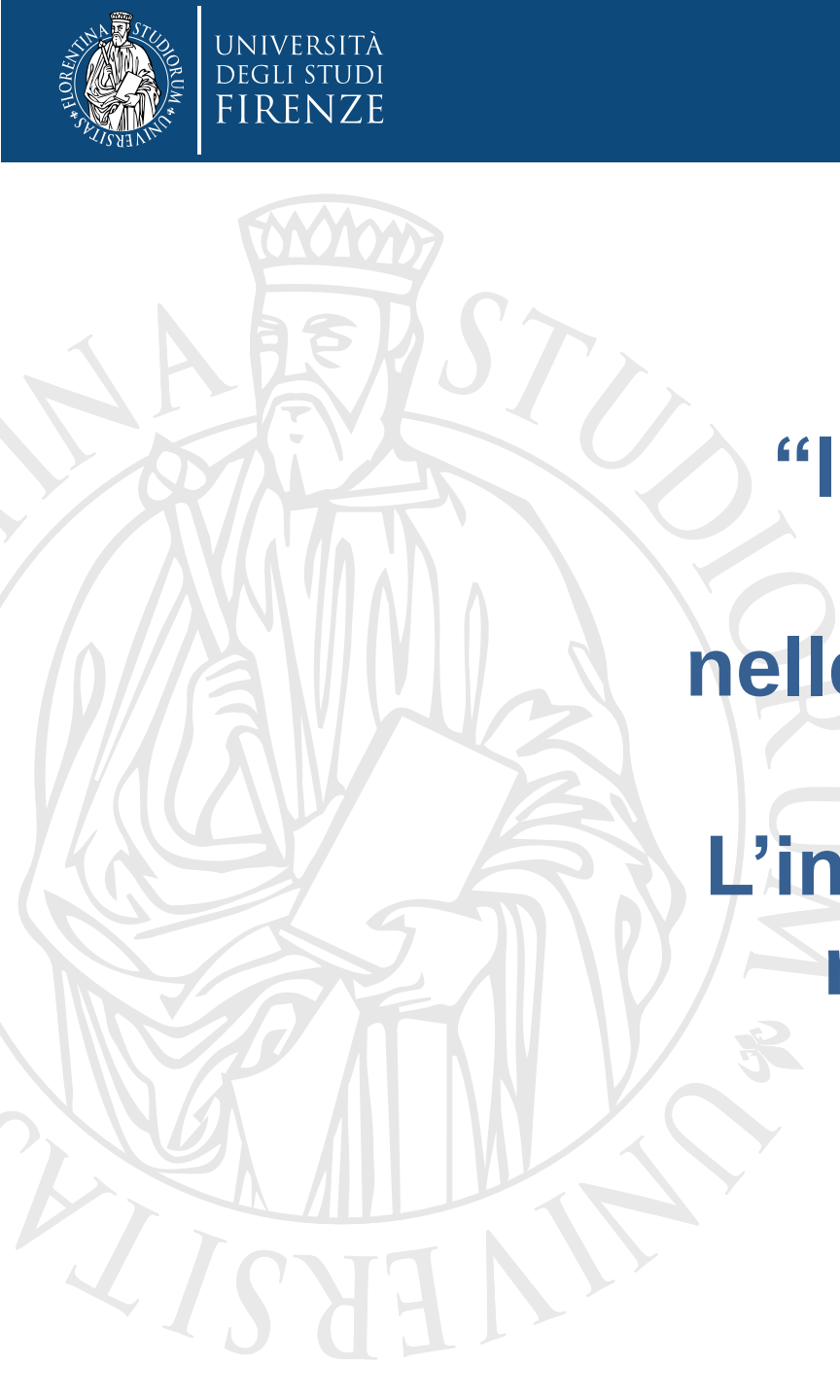


- Due plotoni da 4 veicoli provengono dalle direzioni A e B
- Due veicoli di ognuno vanno a C e due a D
- I plotoni si spezzano e ricompongono modificati dopo l'intersezione

Biberonaggio, sfioccamento e merging diverging

- L'unione dei tre concetti consente l'uso di veicoli elettrici per coprire l'intera offerta di trasporto
- Un'offerta door-to-door o quasi
- Che unisce la capillarità in periferia con l'alta capacità verso il centro aggiungendo una flessibilità senza precedenti





Corso di formazione “la Mobilità Sostenibile” Il trasporto pubblico nelle sue forme innovative

L’innovazione continua ... ma noi ci fermiamo qui

Adriano Alessandrini
Scrivetemi per domande o curiosità
adriano.alessandrini@unifi.it