

ICT nei Trasporti

Perché?

- ❑ Le persone chiedono sempre più di potersi spostare in modo rapido e sicuro e richiedono servizi sempre più avanzati
- ❑ Incidenti stradali, inquinamento, congestione del traffico sono in costante crescita e comportano un **costo sociale enorme**.

L'ICT sta rivoluzionando questo mondo grazie alle innovazioni sui veicoli, sui sistemi di segnalazione, sulla rivelazione del traffico e dell'inquinamento, sui sistemi d'intrattenimento e informazione che renderà possibile la realizzazione del concetto di sistemi
Intelligent Transport Systems (ITS)

<https://www.youtube.com/watch?v=jZOoHcwCKI4>

Perché?

Il concetto di trasporto intelligente e sostenibile, abilitato dalle tecnologie ICT (l'ITS appunto), è anche parte di un concetto più ampio di applicazione dell'ICT che va sotto il nome di

Smart Logistics e che comprende tutti gli *strumenti SW e HW per monitorare, ottimizzare e gestire il trasporto di beni permettendo di rendere più efficiente l'operazione di catalogazione dei beni (meno tempo, meno capacità d'immagazzinamento richieste ect.), ridurre il consumo di carburante, i chilometri percorsi e la frequenza con cui i mezzi operano vuoti o a carico leggero.*

In questo corso invece ci concentriamo più che sugli aspetti legati alla logistica, sugli aspetti legati a rendere il trasporto di beni e persone:

- + sicuro
- inquinante
- + piacevole.

Scenario di riferimento per l'ITS

Scenario di riferimento per l'ITS [fonte ETSI ITS]



ICT nei trasporti: oggi

Numerosi sforzi sono già stati fatti per utilizzare tecnologie ICT per mitigare i costi sociali dei trasporti:

- ❑ Le informazioni sul traffico (es. isoradio) e su eventuali situazioni pericolose vengono mandate in broadcast sulla banda radio FM, interrompendo temporaneamente la ricezione dell'emittente radio selezionata dall'utente
- ❑ Cartelloni con segnalazioni posti a qualche km di distanza su autostrade, tangenziali, gallerie, ponti che allertano di eventuali cambiamenti della viabilità, incidenti, code ect.;
- ❑ Telepass

Inoltre, le macchine sono equipaggiate con più meccanismi di protezione e assistenza alla guida:

- ❑ ABS, sistemi di navigazione, radar davanti e dietro per agevolare il parcheggio, videocamere per meglio vedere "zone d'ombra"

- ❑ Sensori posti ai bordi della strada permettono di raccogliere informazioni sulle condizioni di traffico e quindi abilitare una qualche forma di fleet management (gestione delle flotte)

ICT nei trasporti: verso l'ITS

I veicoli, già equipaggiati con computer di bordo e sensori, verranno ulteriormente equipaggiati con nuovi sistemi di comunicazione radio che permetteranno non solo di raccogliere informazioni sul veicolo e sull'ambiente circostante, ma **anche di scambiare informazioni**:

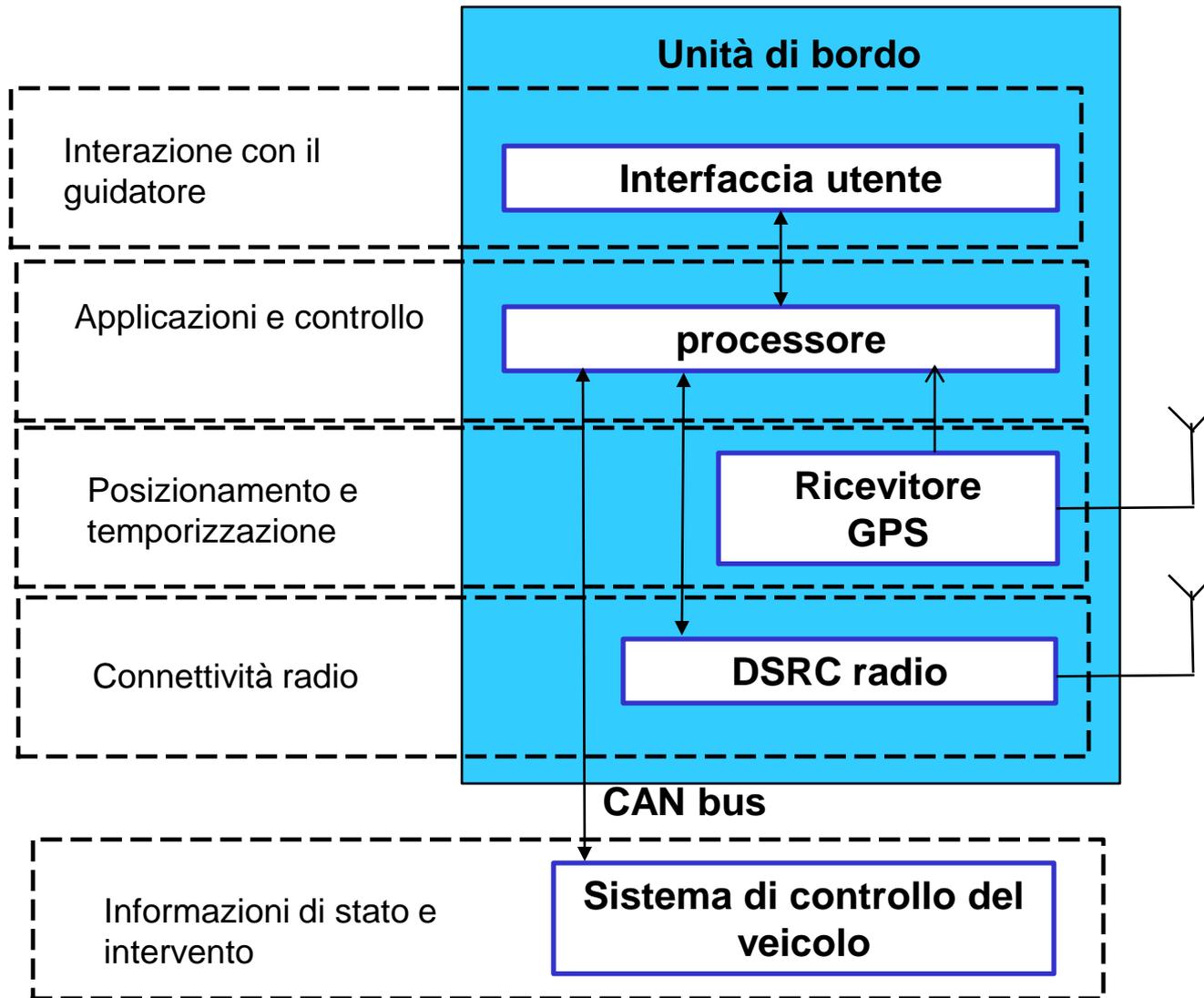
- Sia con altri veicoli
- Che con l'infrastruttura (centri di controllo)

La cooperazione tra veicoli e veicoli e infrastruttura abilitata dalle comunicazioni wireless, permetterà di potenziare le applicazioni dei sistemi ITS, che possono essere classificate in tre grandi categorie:

- Applicazioni legate alla sicurezza
- Applicazioni non legate alla sicurezza (ma per esempio, all'efficienza intesa come riduzione dei costi dei trasporti, dell'inquinamento ect.)
- Intrattenimento e informazione

La visione che si è sviluppata è quella di costituire un'unica architettura di riferimento per una piattaforma ITS cooperativa, distribuita e aperta

Unità di bordo



Unità di bordo

CAN (Control Area Network) è uno standard seriale per bus di campo, nato per ambienti automotive, introdotto negli anni 80 dalla Robert Bosch GmbH sotto richiesta della Mercedes, per collegare diverse unità di controllo elettronico. Si è diffuso presto nell'automazione industriale per le sue caratteristiche di robustezza e affidabilità.

Il CAN è stato espressamente progettato per lavorare senza problemi in ambienti fortemente disturbati dalla presenza di onde elettromagnetiche.

Il bit rate può raggiungere 1Mbps per reti lunghe meno di 40m, 125kbps raggiunge 500m.

La maggior parte delle case automobilistiche fa uso di reti CAN.

Diversi tipi di CAN vengono usati all'interno dell'auto:

- una ad alta velocità per il controllo del motore
- una a bassa velocità per l'elettronica interna come il controllo degli sportelli.
- un terzo tipo di rete connette tutti gli apparati di intrattenimento presenti all'interno dell'abitacolo come la radio, il compact disc, il cellulare, il sistema di navigazione satellitare.

Nota: ogni 50kg di cavi ho un consumo di potenza aggiuntivo di 100W, cresce il consumo di benzina di 0.2 litri per ogni 100km.

Regolamentazione

Per quanto riguarda la diffusione degli ITS nel trasporto stradale, oggi esiste una pletera di soluzioni nazionali, regionali e locali prive di armonizzazione.

Anche il contesto normativo e regolatorio europeo è frammentato.

A livello normativo, l'UE ratifica “decisioni” (vincolanti per gli stati membri) circa l’allocazione delle frequenze e/o i requisiti d’interoperabilità dei servizi ITS

A oggi l'UE ha già deciso di emettere alcune norme, per esempio:

- ❑ Tachigrafo digitale per la certificazione dei tempi di percorrenza dei veicoli commerciali
- ❑ L'introduzione di **EETS** (European Electronic Tolling Services): i paesi Europei oggi hanno i loro sistemi per il pagamento dei pedaggi, sistemi che non interoperano. Questo comporta maggiori costi (se vado all'estero, devo montare l'apparecchio che mi permette di pagare il pedaggio in quel paese). La EU ha deciso di introdurre un singolo EETS che è entrato in vigore per i veicoli commerciali da Ottobre 2012, per gli altri, entrerà in vigore dal 2014 (ma ancora non entr in vigore...).
- ❑ **eCall** ossia la chiamata d'emergenza veicolare in caso d'incidente, automatica, e quindi anche se nessun passeggero è in grado di attivare la chiamata. Vengono mandate al centro di emergenza più vicino un insieme minimo di informazioni che include la posizione in cui è avvenuto l'incidente. L'8 Settembre 2011, la EC ha adottato una Raccomandazione in cui chiede agli stati membri di richiedere ai propri operatori telefonici di organizzare la loro rete in modo da permettere la trasmissione automatica delle chiamate di emergenza 112 generate dalle macchine (eCall). Questo è il primo passo. Seguiranno poi altre iniziative legislative.

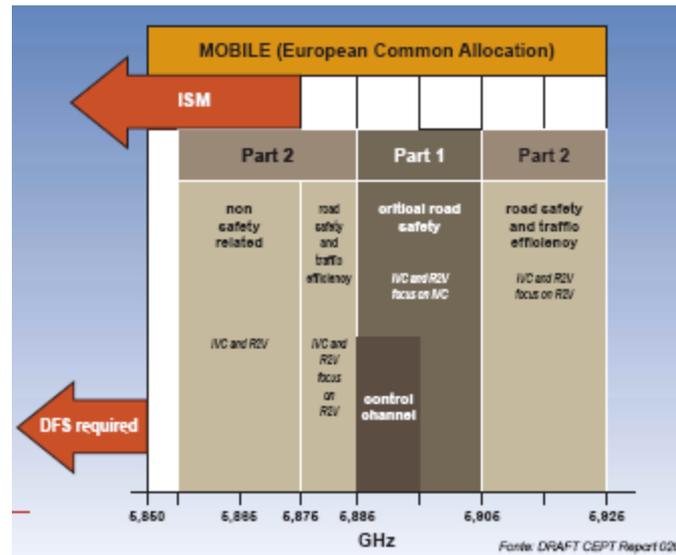
Regolamentazione

Nell'Agosto 2008 la European Commission (EC) ha ratificato la decisione **sull'uso armonizzato dello spettro radio nella banda di frequenza 5875-5905MHz per applicazioni ITS safety-related.**

Questa decisione rappresenta un evento fondamentale perché determina un ambiente stabile ed armonizzato a livello europeo che crea condizioni necessarie per rispondere a richieste del mercato e alle aspettative dei policy-maker, accelerando la standardizzazione, e indirettamente, creando un mercato.

Regolamentazione

Oltre alla banda destinata ai servizi safety-related, la decisione EC identifica anche una porzione di banda adiacente per i servizi ITS di traffic efficiency e non safety-related. Questa classe di servizi è certamente la più interessante dal punto di vista del mercato e alcune nazioni (Germania, Norvegia) hanno già iniziato ad allocare la banda a questo scopo (ossia, per fornire servizi commerciali).



Applicazioni e Requisiti

Applicazioni legate alla sicurezza

Applicazioni che mirano a minimizzare il rischio di incidenti e ridurre le conseguenze degli stessi, se avvengono.

Esistono 3 principali tipi di applicazioni legate alla sicurezza:

1. *Collision Avoidance*
2. *Notifiche dei segnali stradati (Road Sign Notifications)*
3. *Gestione dell'incidente*

Applicazioni e Requisiti

Collision avoidance

Ci si riferisce alle applicazioni che permettono di allertare il guidatore quando potrebbe verificarsi un incidente.

Degli studi hanno mostrato che circa il 60% degli scontri stradali si eviterebbe se il conducente del veicolo potesse ricevere un allarme almeno mezzo secondo prima dell'impatto"

(Us Patent No. 5,613,039)

Limiti del conducente nell'avvertire in tempo il pericolo:

- Non vede gli stop delle macchine davanti
- Elevato ritardo nel processare/inoltrare l'informazione di eventi di emergenza (tempi di reazione umani vanno dai 0.7 ai 1,5 sec)

Applicazioni e Requisiti

Collision avoidance

Esempio #1: applicazione “distanza di sicurezza”
Mi avverte che sto sotto la distanza di sicurezza

Requisiti

- Comunicazioni a corto raggio per monitorare la distanza con il veicolo di fronte
- Tempo di risposta minimo, dell'ordine di microsecondi

Esempio #2: collision avoidance agli incroci

Mi dice se c'è una macchina in arrivo all'incrocio con cui potrei potenzialmente scontrarmi.

Requisiti:

- Comunicazioni short-medium distance (500m massimo) e bassa latenza (millisecondi)
- Medium data rate (non devo conoscere solo la distanza, ma anche velocità, distanza dall'incrocio ect.)

Applicazioni e Requisiti

Esempio di Cooperative Collision avoidance (CCA)

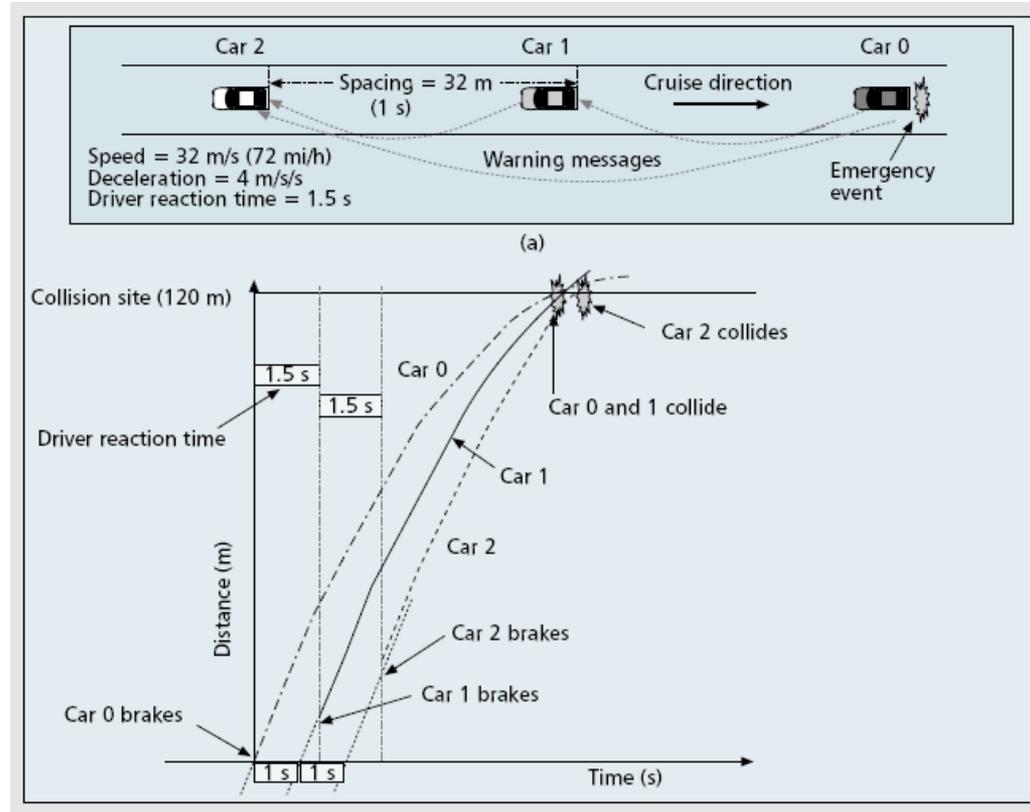
3 macchine che viaggiano ad una velocità di crociera di 32m/s con una distanza tra le macchine di 32 m (ossia, a quella velocità, hanno una distanza di 1s). Costituiscono il cosiddetto platoon (plotone di macchine).

Caso #1-senza meccanismo CCA

La macchina 0 fa una frenata improvvisa (decelera a 4m/s)

La macchina 1 comincia a decelerare quando vede gli stop della macchina 0 accesi

La macchina 2 fa lo stesso quando vede gli stop della macchina 1 accesi
Supponendo un tempo di reazione di 1.5s del guidatore, la macchina 1 va contro la macchina 0 dopo 120m, e successivamente anche la macchina 2 collide.



Applicazioni e Requisiti

Esempio di Cooperative Collision avoidance (CCA)

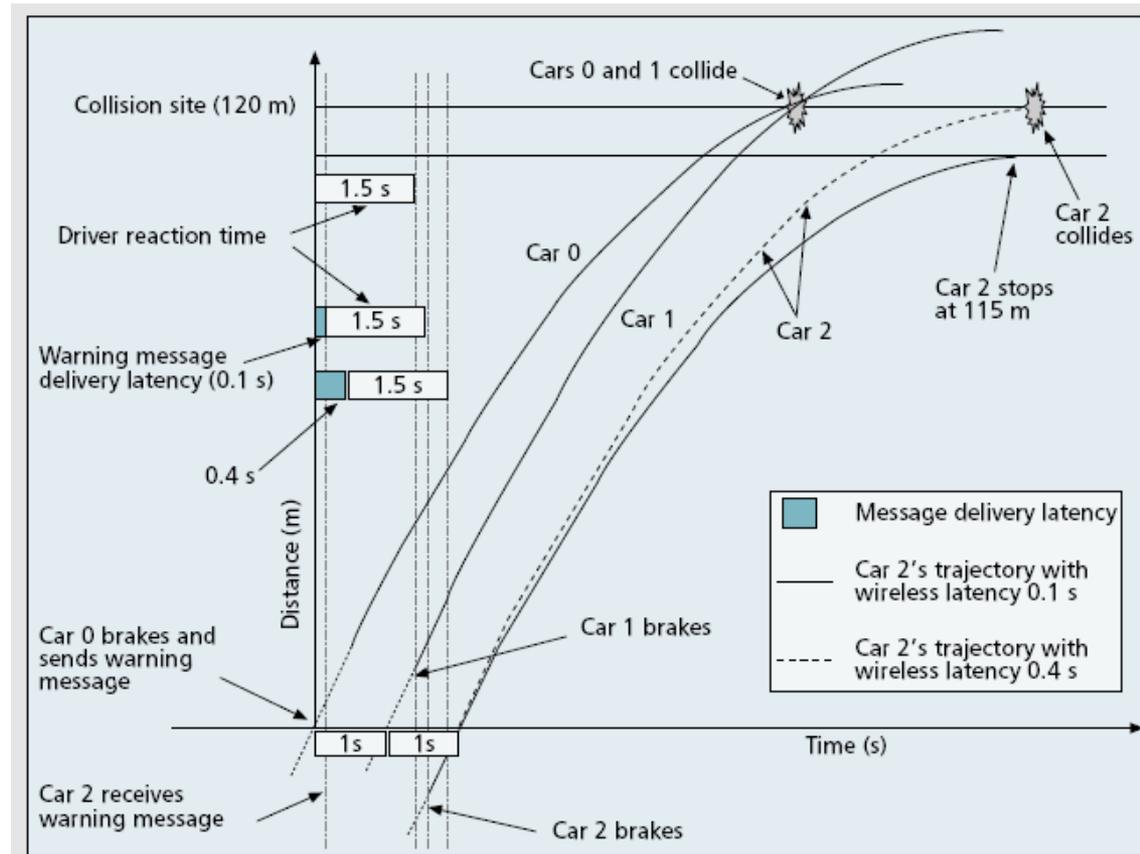
Caso #2-con meccanismo CCA

□ Appena la macchina 0 realizza che c'è un evento di emergenza, comincia a mandare un messaggio di warning a tutte le macchine che si trovano dietro i messaggi vengono inoltrati in modalità multihop, in modo da raggiungere tutte le macchine del "platoon"

□ La macchina 1 comincia a decelerare quando riceve il messaggio anche se lo stop ancora non si è acceso.

□ La macchina 1 comunque sbatte contro la macchina 0. Tuttavia, la macchina 2 può evitare la collisione se il messaggio di warning gli arriva con una piccola latenza.

□ Se la latenza tra il messaggio emesso dalla macchina 0 e ricevuto dalla macchina 2 è di 0.1s, la macchina 2 riesce a fermarsi dopo 115m (5 m prima di collidere). Se invece la latenza è di 0.4s, la macchina 2 non riesce ad evitare la collisione.



La latenza è un requisito fondamentale per applicazioni CCA

Applicazioni e Requisiti

Notifiche sui segnali stradali (Roda Sign notifications)

Road sign notifications (RSNs) sono usate per informare i guidatori dei prossimi segnali stradali in modo che stiano più attenti.

Esempio #1: segnaletica del veicolo

Informo i veicoli vicini del fatto che trasporto materiale infiammabile o comunque il carico è pericoloso

Requisiti:

- Data rate medio*
- bassa latenza*
- alta affidabilità entro un range di 500 m.*

Esempio #2: allarme sulla velocità con cui si sta prendendo la curva

Requisiti:

- Alta priorità e affidabilità*
- Bassa latenza*

Applicazioni e Requisiti

Gestione degli incidenti

Esempio #1: segnalazioni di emergenza
(tipo richieste di aiuto)

Requisiti:

- Data rate medio
- Bassa latenza
- supporto di comunicazione multicast (devo avvertire vigili del fuoco e ambulanza...non tutti) e **geocast** (multicast basato sulla conoscenza della posizione, ossia l'informazione raggiunge solo i veicoli in una certa regione geografica)

Esempio #2: allarme dopo l'incidente (per esempio avverto le macchine che stanno sovrapvenendo che c'e' un veicolo in strada)

- Data rate medio
- Bassa latenza
- Broadcast entro 1km

Applicazioni e Requisiti

Applicazioni non legate alla sicurezza

(per esempio legate all'uso efficiente dei trasporti ossia alla gestione del traffico e della congestione, delle condizioni stradali, dell'inquinamento ect.

Si possono classificare in due tipi

- Management Applications: per gestire il flusso di traffico nelle strade
- Monitoring Applications: per monitorare i veicoli (tracking di spedizioni ect.) e le condizioni stradali.

Applicazioni e Requisiti

Management Applications

Esempio #1: controllo del flusso di traffico intelligente (semafori intelligenti, re-instradamento basato sulle condizioni di congestione)

Requisiti

- Data rate medio
- Range di comunicazione 200-400m
- Comunicazioni di tipo unicast unidirezionale/bidirezionale

Esempio #2: pagamento dei pedaggi automatico

Requisiti

- Comunicazione bi-direzionale tra veicolo e infrastruttura (targa, dove si è entrati in autostrada ect.) e viceversa (per comunicare l'avvenuto pagamento per esempio)
- Bassa latenza,
- Alta affidabilità
- Data rate medio
- Range di 70m

Applicazioni e Requisiti

Monitoring Applications

Esempio #1: vehicle tracking and tracing (T&T)

Requisiti:

Quest'applicazione richiede comunicazioni basate sull'infrastruttura che richiede una comunicazione a lungo-raggio con i centri di servizio

Esempio #2: road condition monitoring (RCM)

Requisiti:

RCM è un'applicazione di bordo che in genere richiede comunicazioni V2V dirette o indirette (comunicazioni cooperative) in cui i veicoli si mandano informazioni sulle condizioni della strada (c'è olio su strada, strada allagata ect.)

Data rate medio

Latenza media

Applicazioni e Requisiti

Intrattenimento e informazione

Fornire servizi d'intrattenimento (possibilità di navigare in internet, vedere la TV in macchina ect.) e informazioni “aggiornate” sulla zone in cui si transita per esempio, legate a ristoranti e esercizi commerciali attraverso l'accesso a Internet fondamentalmente

Esempi:

- Giochi distribuiti (i passeggerie potrebbero giocare usando i propri dispositivi nomadici o a bordo con i passeggeri dei veicoli circostanti)
- Download di musica
- Informazioni turistiche

Applicazioni e Requisiti

Una particolare categoria delle applicazioni d'intrattenimento e informazione sono le applicazioni context-aware

Informazioni su attrazioni locali durante un viaggio

Queste applicazioni hanno bisogno di comunicazioni tra veicolo e Road Side Unit (RSU) locali per raccogliere le informazioni, o con centri per la gestione del traffico e delle informazioni turistiche che possono assistere il guidatore con informazioni aggiornate sull'ambiente locale.

Sono necessarie:

1. Comunicazioni a corto raggio V2I
2. Comunicazioni a lungo raggio per la connessione internet (rete cellulare o wimax)

Applicazioni e Requisiti

| Communication requirements | ITS applications | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| | Safety applications | | | Efficiency applications | | Comfort applications | |
| | Collision avoidance | Road sign notifications | Incident management | Traffic management | Road monitoring | Entertainment | Contextual information |
| Communication mode | V2V/ V2I ^d | I2V ^d | V2V/ I2V ^d | V2I/ V2I ^d | I2V/ I2V ^d | I2V | I2V/ V2V ^d |
| Directionality | 1/2 | 1 | 1 | 1/2 | 1 | 1/2 | 1/2 |
| Latency | Very low | Low | Low | Low-medium | Low | Average | Medium |
| Data rate | Medium | Medium | Medium | Low-medium | Low-medium | High | Low-medium |
| Range | Short | Short | Short-medium | Short-medium | Short-medium | Long | Medium-long |
| Transmission mode | 1 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1/3 | 1 | 1 |
| Message reliability | High | High | High | Medium-high | Medium-hgh | Average | Average |
| Message priority | High | High | High | Medium | Medium | Average | Average |

Applicazioni e Requisiti

Leggenda della precedente tabella

| Communication mode | | Directionality | | Latency | | Range | | Transmission mode | | Data rate | |
|--------------------|---|----------------|---------|----------|-----------------|--------|---------|-------------------|-----------|-----------|----------|
| V2V ^d | Vehicle-to-vehicle direct communication | 1 | One-way | Very low | In microseconds | Short | < 500 m | 1 | Unicast | High | > 6 Mb/s |
| V2V ⁱ | Vehicle-to-vehicle indirect communication | 2 | Two-way | Low | In milliseconds | Medium | ~ 1 km | 2 | Geocast | Medium | 1-6 Mb/s |
| V2I | Vehicle-to-infrastructure | 1/2 | Both | Average | In seconds | Long | > 1 km | 3 | Broadcast | Low | < 1 Mb/s |

VANET

Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANET) sono un tipo particolare di MANET (Mobile Ad hoc NETWORKS)

- I veicoli si muovono secondo percorsi sufficientemente predicibili
- Consumo energetico basso (sia per i veicoli che per i nodi fissi)
- Raggiungibilità della trasmissione e ritardo sono elementi chiave
- Broadcast e multicast sono modalità di trasmissione più importanti di quelle punto-punto
- La posizione dei nodi è tipicamente nota tramite ricevitore GPS
- Diversi tipi di servizi e QoS
- Diverse velocità dei nodi
- Topologia della rete variabile in base alle condizioni di traffico e il comportamento umano

Le VANET possono sfruttare alcune delle caratteristiche come:

- Disponibilità del GPS per fare location-based routing e geocast info distribution
- Disponibilità di mappe stradali digitali per identificare nodi relay

V2V vs V2I

V2V puro (assenza infrastruttura)

- Non richiede access points, base stations or RSUs
- I veicoli comunicano direttamente tra di loro anche per determinare le condizioni di traffico
- Quanti veicoli sono necessari per avere un'informazioni sulle condizioni di traffico con alta qualità?

V2V e V2I

- Richiede access points, base stations or RSUs
- L'infrastruttura fornisce l'accesso ad Internet
- Si usa V2I soprattutto in scenari con bassa densità di traffico
- Quanti RSU sono necessari?

Diversi tipi di scenari e traffico

Rural Road: densità di traffico molto bassa e quindi la rete è disconnessa.

La rete viene partizionata in clusters (gruppi di veicoli) che non possono comunicare direttamente perché non sufficientemente vicini, ma che comunicano tramite l'infrastruttura.

Urban Road: il numero di veicoli è sufficientemente elevato da permettere di trovare quasi sempre un percorso tra sorgente e destinatario. L'infrastruttura può aiutare ad aumentare la capacità di comunicazione.

City Road: densità di traffico molto elevata, veicoli lenti e lunghi periodi di pausa dovuti a semafori o congestione del traffico. La disponibilità dell'infrastruttura di rete è elevata

Highway: i veicoli si spostano a velocità elevate senza pause dovute a semafori ect.

Disseminazione dei messaggi in applicazioni safety-critical

Come fare il routing?

Il protocollo di routing tipicamente usato nelle MANET (AODV) ha una forte limitazione: richiede una fase di route-discovery.

Lo stringente requisito sulla latenza (200ms) di gran parte delle applicazioni safety-critical non è compatibile con algoritmi di routing che richiedono questa fase preliminare di definizione del percorso.

Inoltre, i tradizionali algoritmi di routing non si possono applicare perché si basano sulla conoscenza di indirizzi IP dei destinatari che in realtà in genere sono non noti (macchine che in quel momento mi sono vicine).



Il routing dovrebbe essere di tipo broadcast e su meccanismi di re-inoltro dei pacchetti basati sulla posizione geografica, la direzione, e altre informazioni legate al contesto dei veicoli.

Disseminazione dei messaggi in applicazioni safety-critical

Beaconing – consiste nel trasmettere brevissimi messaggi (100 bytes) periodicamente, con modalità single-hop (no vengono re-inoltrati), che contengono informazioni sull'identità del veicolo, velocità e direzione della macchina ect.

Vengono trasmessi 10 messaggi al secondo da ogni veicolo, in modo non coordinato.

L'idea è che non potendo garantire una trasmissione broadcast affidabile, si usa un approccio best effort basato sulla ridondanza dell'informazione. In aree congestionate dal traffico (100 veicoli nel range di copertura del messaggio) l'affidabilità della trasmissione può essere molto bassa (60%) ma i messaggi sono ripetuti così di frequente che nell'arco di una frazione di secondo, la ricezione è possibile da parte di tutti i veicoli nel range di copertura.

Questo meccanismo è un po' alla base di tutte le applicazioni ITS safety-related

Disseminazione dei messaggi in applicazioni safety-critical

Flooding – è una naturale estensione del beaconing al caso multi-hop. In questo caso, i messaggi vengono re-inoltrati finché non si esaurisce il time-to-live, che deve essere specificato nel pacchetto. Questo TTL potrebbe indicare il massimo numero di volte in cui deve essere re-inoltrato. I pacchetti vengono poi scartati quando hanno raggiunto il numero di hops specificato, o l'area specificata.

Il re-inoltro tuttavia deve essere fatto sulla base di specifiche conoscenze sul contesto.

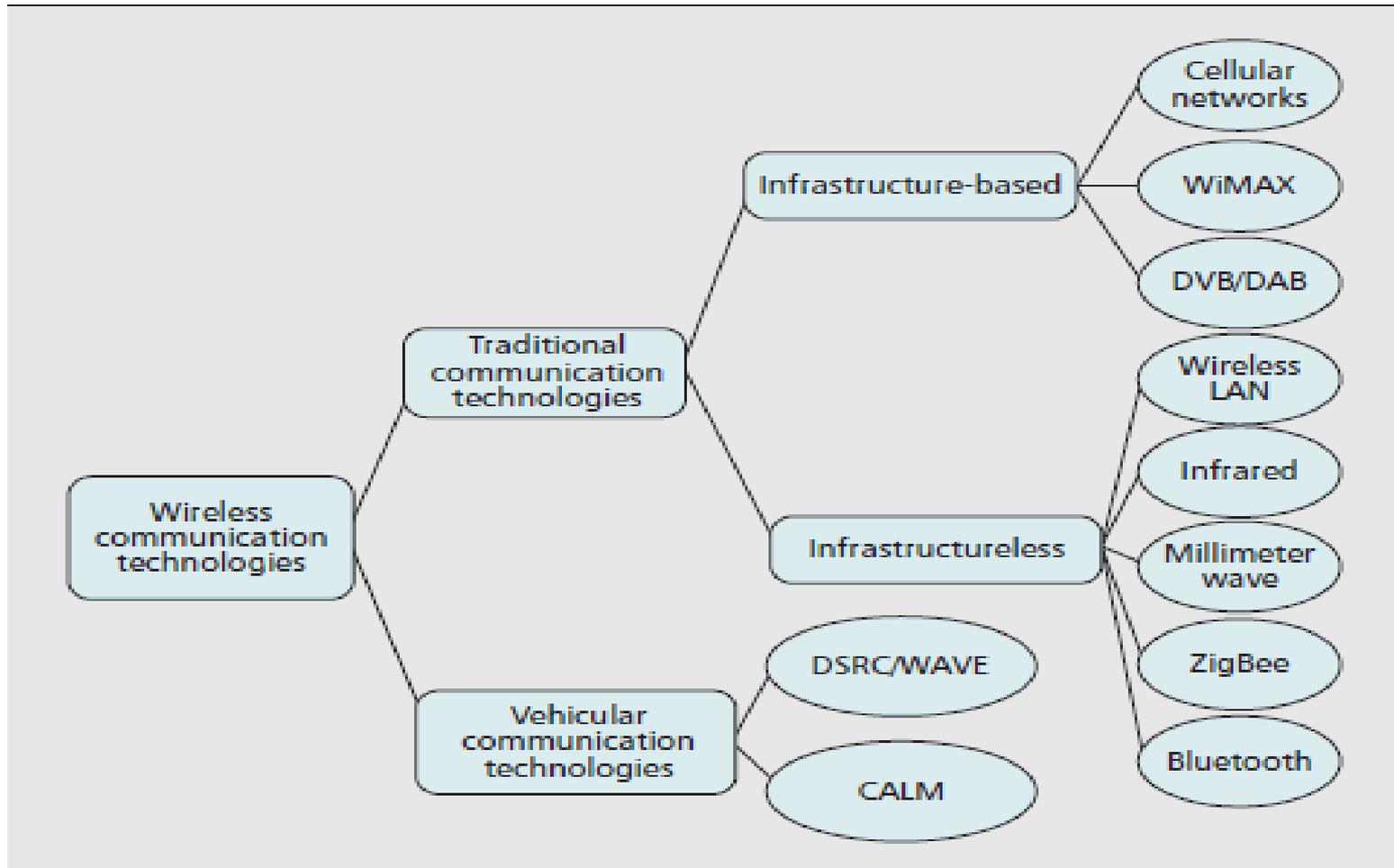
❑ Per esempio, in un'applicazione di tipo CCA, se una macchina sull'autostrada riceve il pacchetto di "frenata di emergenza" da un veicolo sulla carreggiata opposta, non ha senso che lo re-inoltri perché non è di utilità per i veicoli in quella direzione.

❑ Pure un veicolo nella stessa direzione di marcia potrebbe riceverlo, ma da una macchina che sta dietro. In questo caso, questo messaggio non dovrebbe far decelerare la macchina. Quindi, sulla base della direzione di arrivo (lo ricevo dall'antenna posta di fronte e dietro), si fa una decisione.

Si deve inoltre evitare il re-inoltro di messaggi inutile, per evitare situazione di congestione che potrebbero aumentare di molto la latenza.

❑ Quindi, per esempio, se ricevo da una macchina dietro lo stesso messaggio che ho già ricevuto da una macchina di fronte, posso evitare di re-inoltrare poiché la macchina che sta dietro è responsabile del re-inoltro.

Tecnologie di Comunicazioni radio



Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie basate sull'infrastruttura

Reti cellulari

- Forniscono basse latenze ma non bassissime latenze
- Non sono adatte al broadcast poichè supportano comunicazioni punto-punto
- Il loro uso è a pagamento e richiede un contratto con un operatore

WiMAX:

WiMAX può essere usato per V2I o I2I comunicazioni a lungo raggio per fornire accesso Internet agli utenti mobili in macchina per esempio

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie basate sull'infrastruttura

Digital Video Broadcasting (DVB) è un consorzio di aziende che si sono accordate per progettare una famiglia di standard per supportare servizi multimediali

DVB-T è usato per il broadcast digitale terrestre.

DVB-S permette la trasmissione di MPEG-2/MPEG-4 audio/video via satellite.

DVB-C permette la trasmissione di MPEG-2/MPEG-4 audio/video via cavo

Recentemente, *DVB-Handheld (DVB-H) è stato introdotto per fornire servizi broadcast a terminali mobili (telefonini)*.

Digital Audio Broadcasting (DAB) è evoluta per fornire servizi audio digitali caratterizzati da alta qualità.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie Senza Infrastruttura

Wireless local area network (WLAN):

supporta IEEE 802.11a/b/g/n. Progettata per lavorare ad alte data rate e affidabilità, richiede tuttavia delle modifiche per poter essere usata in comunicazioni V2V. Per comunicazioni V2V e V2I, una particolare versione di IEEE802.11a è prevista (IEEE802.11p, vedi dopo)

Svantaggi:

- ❑ Non ha buone prestazioni in caso di frequenti handover tra diversi access points (come nel caso di comunicazioni V2V). D'altra parte, non nasce con intrinseco il concetto di mobilità, come i sistemi cellulari, ma solo di nomadicità.
- ❑ Il livello fisico non nasce per lavorare in ambienti in cui il canale di propagazione è molto variabile nel tempo (elevati Doppler Spread) e con elevati delay spread (molto selettivo in frequenza)

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie Senza Infrastruttura

Infrared (IR):

E' un tipo di trasmissione ottica "free-space" (ossia, non cablata) alle frequenze 1-400THz

Richiede condizioni di propagazione LOS (Line-Of-Sight) e quindi potrebbe essere usata tra RSU e veicoli che stanno passando nelle vicinanze.

Bluetooth:

Si può usare per connettere vari dispositivi radio dentro il veicolo (telefono con microfono della macchina ect.)

ZigBee technology

Potrebbe essere usata per applicazioni ITS basate sui sensori che richiedono basse energie, data rate medie, non LOS, affidabilità (es. Sensori di inquinamento che mandano i dati a centri di elaborazione e controllo che a loro volta mandano indicazioni ai veicoli stradali su dove passare per minimizzare l'inquinamento)

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie Senza Infrastruttura

Millimeter-wave (MMWAVE) :

E' una tecnologia di prossima generazione che fornisce data rate fino a multigigabit/s per distanze molto piccole

Lavora a frequenze tra 60–64 GHz e può supportare comunicazioni V2V dirette (veicoli vicini, per esempio, per scambiarsi file grandi o condividere dei giochi), ma anche e soprattutto, comunicazioni dentro la macchina, legate ad applicazioni di intrattenimento.

Perchè 60GHz?

- 1) c'e' più banda a disposizione
- 2) L'attenuazione elevata (picco di assorbimento dell'ossigeno a 60GHz) è un vantaggio perche' permette di riusare la frequenze di più

Rispetto a IR, la tecnologia MMWAVE ha tre principali vantaggi:

- È meno affetta dalle condizioni atmosferiche (i collegamenti ottici soffrono molto per esempio in caso di nebbia)
- Meno sensibili all'interferenza dalla luce del sole
- Possibilità di fare comunicazioni non LOS

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

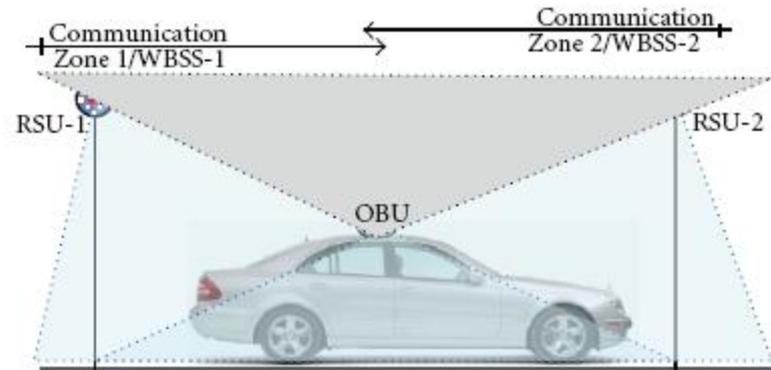
Tecnologie di comunicazione specificatamente pensate per applicazioni veicolari (comunicazioni V2V e V2I)

- Famiglia di standard DSRC/WAVE
- Standard CALM

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE



Una OBU roaming tra 2 RSU

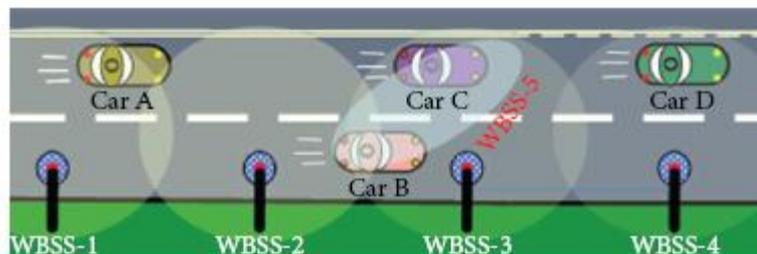
Una rete DSRC è costituita da due unità base:

- ❑ una Road-Side Unit (RSU): tipicamente è una unità stazionaria che connette veicoli che stanno passando nelle vicinanze, alla rete di accesso.
- ❑ una On-Board Unit (OBU): tipicamente è un dispositivo fisso dentro il veicolo connesso attraverso la rete DSRC alla RSU o altri veicoli, e inoltre connesso ad una rete interna al veicolo (tramite però un'altra tecnologia)

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE



Distribuzione di WBSS in un'autostrada

WBSS: WAVE Basic Service Set (WBSS) è un identificatore unico per ogni zona di comunicazione. I veicoli devono essere associati con solo un WBSS alla volta. Ogni zona di comunicazione ha il suo WBSS.

Nella figura ci sono 4 zone di comunicazione associate a 4 RSU e inoltre, veicoli vicini tra di loro come la macchina B e C possono comunicare tra loro usando la WBSS-5.

Le OBUs si agganciano alla WBSS della RSU più vicina e tipicamente la lasciano in un intervallo molto breve (stime media 3.6 sec). In questo intervallo piccolo il veicolo deve essere in grado di mandare alla RSU le sue informazioni. Questo impone dei limiti nel progetto dello standard WAVE



Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE

DSRC usano lo WAVE Short Messages Protocol per scambiare informazioni tra veicoli e RSU o tra veicoli.

Trasmettono informazioni tipo posizione, velocità, direzione di viaggio, altre informazioni sullo stato in messaggi di dimensioni dell'ordine di 100bytes con elevata frequenza (10 volte al secondo) in modo non coordinato.

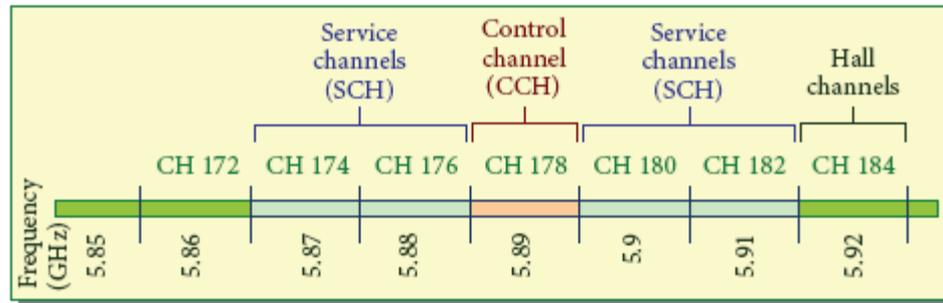
Questi short messages sono in genere trattati come pacchetti broadcast a livello MAC.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE

- IEEE P1609.4 - **Multi-Channel Operations**, che fornisce alcuni add-on alla norma IEEE 802.11 Media Access Control (MAC) per supportare le operazioni in ambito WAVE.

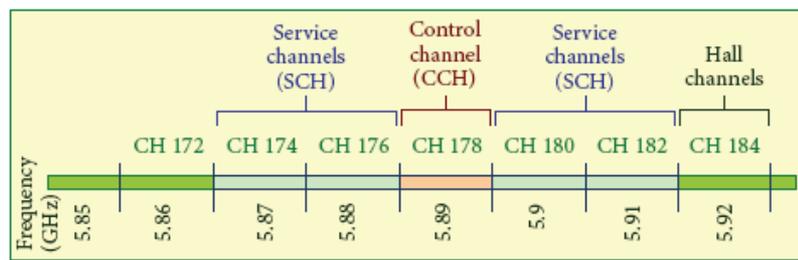


Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE

- IEEE P1609.4 - **Multi-Channel Operations**, che fornisce alcuni add-on alla norma IEEE 802.11 Media Access Control (MAC) per supportare le operazioni in ambito WAVE.



Due tipi di canali

Control Channel (CCH)

- Comunicazioni Broadcast communication
- Dedicato a dati brevi con alta priorità:
 - Safety-critical con basse letenze
 - Inizializzazione della comunicazione in due direzioni sul canale SCH

Service Channel (SCH):

- Com. Bidirezionale tra RSU e OBU o tra varie OBUs;
- Per applicazioni specifiche come, pagamento pedaggio, accesso a Internet
- Diverse applicazioni possono essere attive in parallelo su diversi SCH
- Richiede l'instaurazione di un WAVE Basic Service Set (WBSS – “Ad-hoc group”) prima di poter utilizzare un SCH

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

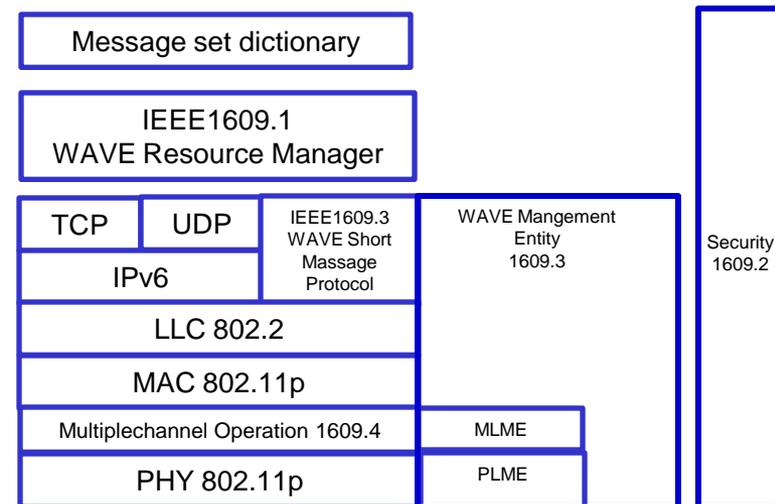
Famiglia di standard DSRC/WAVE

La famiglia di standard DSRC/WAVE ha già dei prodotti in fase di prova e altri prodotti già apparsi sul mercato.

Dedicated Short-Range Communication (DSRC)

WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

Pila protocollare



MLME: *MAC Layer Management Entity*

PLME: *PHY Layer Management Entity*

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE

Livello PHY e MAC sono specificati dallo standard IEEE802.11p, che è basato su IEEE802.11a, con delle modifiche che verranno descritte di seguito

I livelli superiori invece sono regolamentati dalla famiglia di standard IEEE P1609 specificata dai seguenti Working Group:

- IEEE P1609.1 - **Resource Manager**, che descrive i componenti chiave dell'architettura WAVE e definisce i flussi di dati, le relative risorse, i formati dei messaggi di comando e quelli per l'immagazzinamento dei dati. In pratica vengono definite tutte le procedure gestionali che le applicazioni devono rispettare per poter operare correttamente in questo framework.
- IEEE P1609.2 - **Security Services for Applications and Management Messages**, che definisce i formati e i meccanismi per garantire la security dei messaggi scambiati, insieme alle linee guida per individuare le circostanze in cui applicare queste procedure.
- IEEE P1609.3 - **Networking Services**, che definisce i livelli di rete e di trasporto incluse le procedure di indirizzamento e routing coerenti con i meccanismi di sicurezza per lo scambio dei dati. Essa definisce, inoltre, il Wave Short Messages, fornendo un'alternativa efficiente all'IPv6 e che può essere direttamente supportata dalle applicazioni.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Famiglia di standard DSRC/WAVE

Inoltre, un dizionario di messaggi è stato standardizzato dalla Society of Automotive Engineers (SAE J2735). Questo dizionario definisce un linguaggio comune per far “dialogare” i veicoli. Lo standard definisce messaggi di:

- Sicurezza
- Avviso di collisione all’incrocio
- Avviso di cambiamento di corsia
- Avviso di collisione frontale
- Notifiche di avvicinamento di ambulanze, vigili del fuoco, lavori in corso
- Messaggi che notificano la presenza di pedoni
- Messaggi per trasmettere informazioni storiche sul viaggio per applicazioni di traffic management
- Ect.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p

Le modifiche al livello PHY e MAC dello standard l'IEEE802.11a sono necessarie perchè:

- ❑ questo standard nasce per un ambiente di propagazione indoor mentre invece lo scenario V2I o V2V prevede un canale di propagazione outdoor; ➡ modifiche al PHY
- ❑ Inoltre non è in grado di fornire le basse latenze e l'affidabilità richiesta in alcune applicazioni ITS di tipo sicurezza e emergenza (è principalmente definito per rispondere ai requisiti di questo tipo di applicazioni legate alla sicurezza) ➡ meccanismi di gestione della QoS come definiti dall'IEEE802.11e
- ❑ Non è ottimizzato per operazioni multichannel ➡ estensione del MAC

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

IEEE802.11p

IEEE802.11a

| Parametro | Valore | Parametro | Valore |
|--------------------------|---|--------------------------|---|
| Data Rate | 3,4,5,6,9,12,18,24,27 Mbps | Data Rate | 6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps |
| Frequenza di codifica | $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ | Frequenza di codifica | $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ |
| Modulazione | BPSK,QPSK,16QAM,64QAM | Modulazione | BPSK,QPSK,16QAM,64QAM |
| sottoportanti | 52 | sottoportanti | 52 |
| Banda | 10MHz | Banda | 20MHz |
| Spaziatura sottoportanti | 156,25KHz | Spaziatura sottoportanti | 312.5KHz |
| Durata del simbolo OFDM | 8 μ s | Durata del simbolo OFDM | 4 μ s |
| Cyclic Prefix | 1.6 μ s | Cyclic Prefix | 0.8 μ s |
| Periodo della FFT | 6.4 μ s | Periodo della FFT | 3.2 μ s |

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

Canale di propagazione outdoor è caratterizzato da delay spread maggiori

Mentre l'IEEE802.11a è progettato per lavorare con delay spread massimi di 200ns ( la durata del Cyclic prefix T_G dovrebbe essere (2-4) volte il delay spread e quindi, 0.8 μ s dello standard va bene)

Nel caso di canale outdoor, il delay spread tollerabile dovrebbe essere 400/600ns
Che valore di T_G scelgo?

Invece di progettare tutta l'interfaccia radio da zero, semplicemente si è scelto di dimezzare la frequenza del clock dell'IEEE802.11a, ossia la frequenza di campionamento (di fatto, dimezzo anche la banda)...insomma, ogni chip dell'IEEE802.11p ha durata doppia rispetto a quello dell'IEEE802.11a, quindi, un Cyclic Prefix con lo stesso numero di chip dell'IEEE802.11a avrà durata doppia e quindi pari a 1.6 μ s.

Questa semplice modifica, rende lo standard più robusto per lavorare in ambiente outdoor. Perdo in data rate massima (che sarà la metà) ma per le tipiche applicazioni ITS di safety ect....va più che bene la data rate.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

Canale di propagazione outdoor è caratterizzato da delay spread maggiori

Tuttavia, uno dei problemi principali dell'uso dell'OFDM su canali veicolari è dovuto al fatto che il canale veicolare oltre ad essere outdoor è fortemente variabile nel tempo.

Si parla di canale “double selective”:

□ ossia il guadagno varia sia in frequenza (per via del fenomeno dei cammini multipli e il delay spread) con una banda di coerenza minore della banda del segnale

□ sia nel tempo (Doppler spread) con un intervallo di coerenza minore del periodo di simbolo (nel caso specifico, minore del periodo di simbolo OFDM)

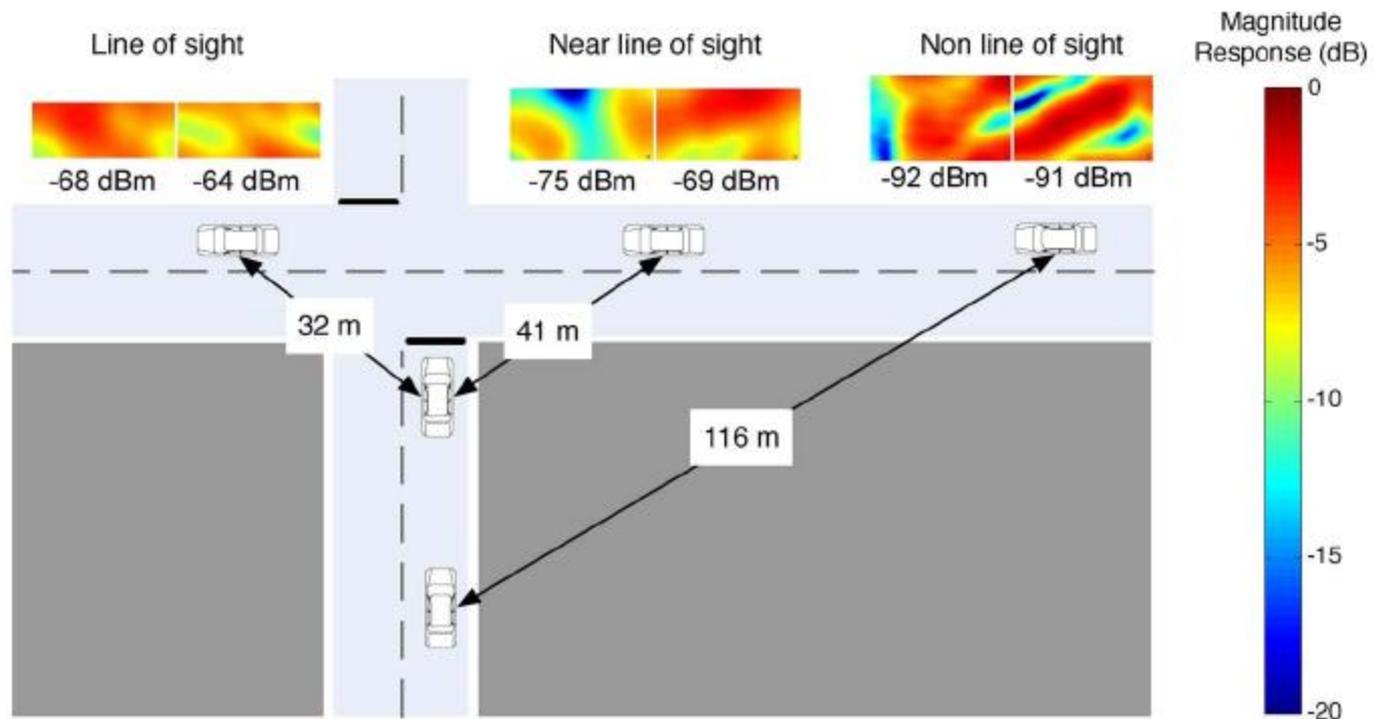
L'OFDM si basa sull'ipotesi fondamentale che in un periodo di simbolo OFDM il canale rimane costante. Questo potrebbe non essere più vero e in questo caso, l'OFDM degrada molto le sue prestazioni

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

Canale "Double-selective"



I diagrammi "colorati" hanno:
Sull'asse x la frequenza

Sull'asse y il tempo

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

La variabilità del canale nel tempo è legata al fenomeno del Doppler Shift, ossia al fatto che in ricezione “vedo” una frequenza diversa da quella della portante per via del movimento reciproco tra Tx e Rx.

Per una velocità di 125Km/h (che non comprende i treni ad alta velocità, ma comprende le velocità massime degli autoveicoli in US, Europa e Asia), se lavoro a 5.8 GHz, il massimo Doppler Shift è:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} = \frac{35m/s}{0.051m} = 686,27Hz$$

Rule of Thumb (“a spanne”) per non avere una eccessiva distorsione dovuta al Doppler Shift è che

$$f_{d,max} < 0.01\Delta f$$



$$\Delta f > \frac{f_{d,max}}{0.01} = 686 * 100 \approx 68.6kHz$$

Condizione verificata per l'IEEE802.11p dove il Δf è di 156 kHz.

Tuttavia, verifiche sul campo hanno mostrato una forte degradazione delle prestazioni.

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

Standard IEEE802.11p: PHY

| Quantile | Delay Spread (ns) | | | | Doppler Spread (Hz) | | | |
|---------------------|-------------------|-------|---------|-------|---------------------|-------|---------|--------|
| | RMS | | Maximum | | RMS | | Maximum | |
| | 50% | 90% | 50% | 90% | 50% | 90% | 50% | 90% |
| Urban LOS | 34.8 | 81.6 | 362.0 | 756.6 | 40.0 | 108.3 | 353.4 | 665.0 |
| Urban NLOS | 65.4 | 124.7 | 468.9 | 848.4 | 63.1 | 140.9 | 360.7 | 814.2 |
| Highway LOS | 18.7 | 61.7 | 272.3 | 744.0 | 59.7 | 169.8 | 826.1 | 1361.6 |
| Highway NLOS | 58.8 | 131.3 | 509.7 | 971.9 | 154.9 | 322.4 | 875.2 | 1446.5 |

Tecnologie di Comunicazione

Tecnologie di Comunicazione Veicolare (VTC)

CALM (Communication Air-Interface for Long- and Medium-Range Communication)

The ISO TC204 Working Group è nella fase finale di Standardizzazione del CALM che è un insieme di protocolli e standard per l'ITS, che include anche l'IEEE802.11p, ma anche altri standard come reti cellulari 2G/3G, Internet (IPv6), WiMAX, satellite, MMWAVE e IR.

L'obiettivo è di definire una tecnologia integrata per fornire un insieme di protocolli e parametri per medio e lungo raggio ITS ad alta velocità usando uno o più mezzi di comunicazione

Il target non sono solo applicazioni safety-oriented a corto raggio come nel caso DSRC ma anche le altre applicazioni ITS non safety e più commerciali

Tecnologie di Comunicazione

Sommaro

| Communication characteristics | Communication technologies | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--------------------------|------------|------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------|
| | Traditional communication technologies | | | | | | | | Vehicular communication technologies | |
| | Infrastructure-based | | | | Infrastructureless | | | | | |
| | GSM/GPRS | WiMAX | DVB/DAB | WLANs (a/b/g/n) | MM Wave | IR | ZigBee | Bluetooth | DSRC/WAVE | CALM (M5) |
| Communication mode | V2I/ V2V ⁱ | V2I/ V2V ⁱ | I2V | V2V ⁱ | V2R/ V2V ^d | V2R/ V2V ^d | V2V ^d | V2R | V2R/ V2V ^d | V2R/ V2V ^d |
| Directionality | 2 | 2 | 1 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 2 | 1/2 | 1/2 |
| Latency | 1.5–3.5 sec | ~110 ms | 10–30 sec | ~46 ms | ~150 μs | Very Low | ~16 ms | ~100 ms | 200 μs | 200 μs |
| Data rate | 80–384 kb/s | 1–32 Mb/s | ~1.73 Mb/s | 54–600 Mb/s | ~1 Gb/s | ~1 Mb/s | 20–250 kb/s | 1–3 Mb/s | ~6 Mb/s | ~6 Mb/s |
| Range | 10 km | 15 km | 40 km | 250 m | ~10 m | ~10 m | ~100 m | ~10 m | ~1 km | ~1 km |
| Transmission mode | 1/2 | 1/2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Mobility | Yes | Yes | Yes | Limited | Limited | No | Yes | Limited | Yes | Yes |
| Operating band | 0.8–1.9 GHz | 5.x GHz | 6–8 MHz | 2.4–5.2 GHz | 60–64 GHz | 2.6 GHz | 2.4–2.5 GHz | 2.4 GHz | 5.8–5.9 GHz | 5–6 GHz |

Tecnologie di Comunicazione

Sommaro

| Functionalities | ITS application categories | Recommended carrier(s) |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|
| Safety | Collision avoidance | DSRC, WAVE |
| | Road sign notifications | DSRC, WAVE, CALM (M5) |
| | Incident management | WiFi, DSRC, WAVE, cellular network |
| Efficiency | Traffic management | DSRC, WAVE, cellular network, DAB |
| | Road monitoring | IR, ZigBee, DSRC, WAVE |
| Comfort | Entertainment | MMWAVE, WLAN, WiMAX, DVB, DVB-H |
| | Contextual information | DSRC, WAVE, cellular network, DAB |