

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA E SCIENZE
INFORMATICHE**

**Analisi del rapporto tra Autonomous Guided Vehicles e
ambiente fisico per il movimento**

Relazione in
Sistemi Autonomi

Professore
Andrea Omicini

Presentata da
Console Carlo
Lucchi Riccardo

Anno Accademico 2016-2017

Sommario

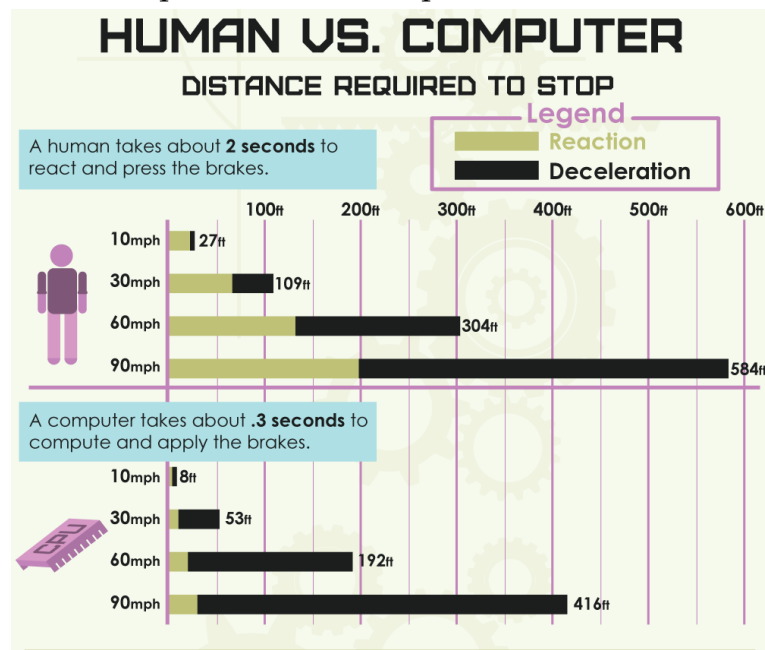
1. Introduzione	1
2. Concetti di base	2
2.1. Sistemi autonomi.....	2
2.2. Agenti intelligenti.....	3
3. AGV: Autonomous Guided Vehicle	5
3.1. AGV come un agente intelligente	5
3.2. Percezione dell'ambiente	7
3.3. Robustezza nella percezione dell'ambiente	10
4. Dagli AGV al Vehicular Cloud	11
4.1. Vehicular Cloud	12
4.2. Auto-organizzazione degli AVG.....	13
5. Conclusioni.....	15
6. Riferimenti.....	16

1. Introduzione

Dagli ultimi decenni a questa parte, uno dei maggiori temi di ricerca nell'ambito dell'industria automobilistica riguarda la progettazione di veicoli a guida autonoma. Le motivazioni di tanto interesse per questo contesto da parte delle grosse aziende sono principalmente due:

- Fornire maggior comfort agli utenti che andranno ad utilizzare i veicoli;
- Aumentare la sicurezza dei viaggi, sia per gli utenti all'interno del veicolo, sia per quelli presenti nell'ambiente circostante.

In merito a quest'ultimo punto, è stato provato statisticamente che, se si fosse prestata più attenzione, si sarebbero potuti evitare più del 60% degli incidenti stradali registrati. L'obiettivo dei veicoli a guida autonoma è proprio quello di minimizzare il tempo di reazione in casi di emergenza. Mediamente un umano impiega circa due secondi per accorgersi di una situazione di pericolo e reagire di conseguenza (es. premendo il freno); se il veicolo fosse in grado di percepire e reagire ad una situazione simile in maniera autonoma (con l'ausilio quindi di un processore), il tempo impiegato da esso per gestire l'emergenza sarebbe di circa 0.3 secondi [Figura 1.1]. Ciò significa che un veicolo a guida autonoma gestirebbe le situazioni di pericolo circa il 70% più velocemente rispetto ad un umano.



[Fig.1.1] Comparazione dei tempi di reazione tra un AGV e un veicolo classico.

L'introduzione di meccanismi di sicurezza attivi quali la frenata assistita (meccanismo che sfrutta telecamere o radar per intercettare in tempo una collisione e agire autonomamente sull'impianto frenante del veicolo) hanno già permesso di ridurre il numero di incidenti, ma con gli AGV questo discorso può essere ulteriormente amplificato: l'utente finale potrà richiedere al veicolo di raggiungere una qualsiasi destinazione in totale autonomia e sicurezza.

L'obiettivo principale di questa relazione è quello di analizzare in che modo i veicoli a guida autonoma sono in grado di percepire l'ambiente circostante, per adottare le opportune scelte, al fine di portare l'utente a destinazione in maniera sicura.

2. Concetti di base

Prima di definire nel dettaglio l'architettura dei veicoli a guida autonoma, è bene ricordare quali sono i concetti che stanno alla base di essi per capirne al meglio il funzionamento.

2.1. Sistemi autonomi

È opportuno parlare di sistemi autonomi in quanto gli AGV sono una specializzazione di essi. Un sistema autonomo è definito come un sistema (insieme di componenti che interagiscono tra di loro) che definisce le proprie regole di comportamento per raggiungere un determinato obiettivo. Questo tipo di sistema deve essere allo stesso tempo *proattivo*, ossia dev'essere in grado di effettuare delle scelte senza stimoli esterni, e *reattivo*, ossia dev'essere in grado di percepire gli eventi provenienti dall'ambiente esterno e adattarsi al cambiamento.

Le proprietà principali dei sistemi autonomi sono:

- *Autopoiesi*: abilità di un sistema complesso di mantenere coerente la propria struttura e organizzazione attraverso l'interazione dei propri componenti. Un sistema di questo tipo può essere rappresentato come una rete di processi di creazione/trasformazione/distribuzione di componenti che, interagendo tra di loro, sostengono e rigenerano in continuazione il sistema stesso;
- *Omeostasi*: abilità di un sistema complesso nel regolare le proprie proprietà interne e comportamentali per mantenere stabili le proprie funzionalità;
- *Chiusura*: l'organizzazione è caratterizzata da una rete di processi interni che dipendono gli uni dagli altri e che

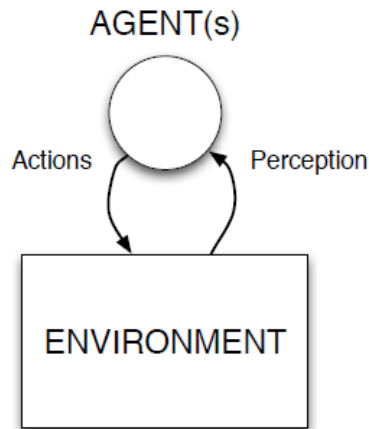
contribuiscono a definire l'intero sistema come singola unità;

- *Robustezza*: abilità di un sistema nel mantenere le proprie funzionalità a fronte di perturbazioni interne/esterne ed incertezze;
- *Auto-organizzazione*: capacità di un sistema di creare e mantenere la propria organizzazione in maniera autonoma. Ciò significa che se si verificano dei problemi, il sistema dovrà essere in grado di risolverli in maniera autonoma (*auto-manutenzione*) e graduale (senza che si verifichino dei fallimenti improvvisi dell'intero sistema). Inoltre il sistema deve essere in grado di riorganizzare la propria struttura e il suo comportamento per far fronte a fenomeni emergenti (cambiamenti dell'ambiente).

2.2. Agenti intelligenti

Un agente intelligente è un sistema in grado di percepire lo stato dell'ambiente circostante e di eseguire azioni in maniera autonoma, basandosi sul suo stato interno e sui propri obiettivi [Figura 2.2.1]. Le caratteristiche principali di un agente sono:

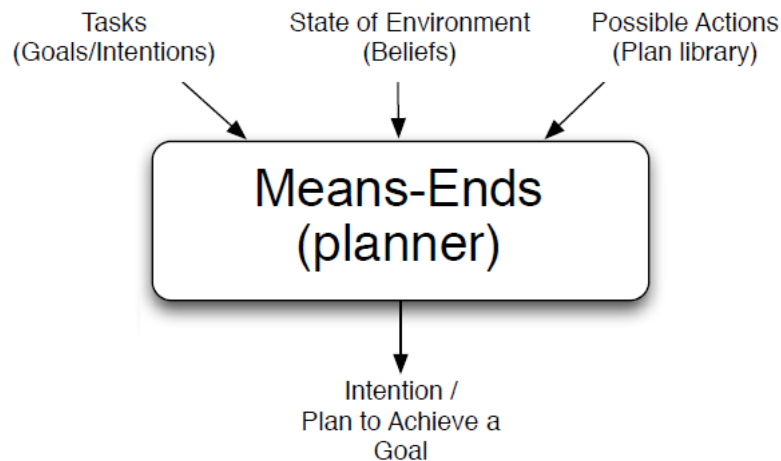
- *Proattività*: l'agente è in grado di prendere delle decisioni in maniera autonoma, senza dover necessariamente ricevere stimoli esterni;
- *Reattività*: l'agente è in grado di percepire i cambiamenti che avvengono nell'ambiente e adattare il proprio comportamento in base ad essi;
- *Situatedness*: l'agente è un sistema autonomo, ma vivendo all'interno di un ambiente, presenta comunque alcune forme di dipendenza da esso;
- *Flusso di controllo e abilità sociali*: ogni agente è caratterizzato da un proprio flusso di controllo, che ne definisce il ciclo di vita. Questo non può essere né passato né essere richiesto da altri agenti, ma è possibile far comunicare questi tra di loro tramite lo scambio di informazioni, che avviene all'interno dello stesso ambiente (Multi-Agent-System).



[Figura 2.2.1] Astrazione di un agente.

Generalmente il ciclo di vita di un agente è definito dalle seguenti fasi [Figura 2.2.2]:

- Percezione dell'ambiente circostante;
- Aggiornamento del modello locale del mondo;
- Selezione dell'obiettivo da portare a termine;
- Selezione del piano migliore (insieme di azioni) per raggiungere l'obiettivo desiderato (fase di means-ends reasoning);
- Esecuzione del piano selezionato.



[Figura 2.2.2] Rappresentazione del ciclo di vita di un agente.

Questo concetto risulta essere molto importante in questa relazione, in quanto si può pensare ad un AGV come una implementazione di un agente intelligente. Come tale, ad ogni istante di tempo il veicolo a guida autonoma dovrà essere in grado di percepire lo stato dell'ambiente circostante (composto da strutture, strade, veicoli, segnali stradali, ...) e selezionare ed eseguire il piano migliore per quel momento (imboccare una

certa strada, evitare un ostacolo, ...), il tutto al fine di raggiungere un obiettivo preimpostato dall'utente (es. raggiungere una determinata destinazione).

3. AGV: Autonomous Guided Vehicle

Gli Autonomous Guided Vehicles sono quei particolari veicoli in grado di auto-guidarsi per transitare da una locazione ad un'altra (selezionata dall'utente), senza la necessità di dover essere supervisionati dell'uomo. Come già accennato nel capitolo precedente, gli AGV devono continuamente prendere delle decisioni basate sullo stato dell'ambiente circostante e su regole interne. Devono essere inoltre in grado di monitorare il proprio stato autonomamente, di individuare eventuali problemi e di risolverli; qualora la risoluzione non fosse possibile, l'AGV deve essere comunque in grado di selezionare ed eseguire un piano per portare il sistema in uno stato di sicurezza (stato in cui i rischi sono minimi).

Nelle prossime sezioni verrà introdotto il modello generale di un AGV, focalizzandosi principalmente su come quest'ultimo sia in grado di percepire l'ambiente circostante al fine di prendere le proprie decisioni.

3.1. AGV come un agente intelligente

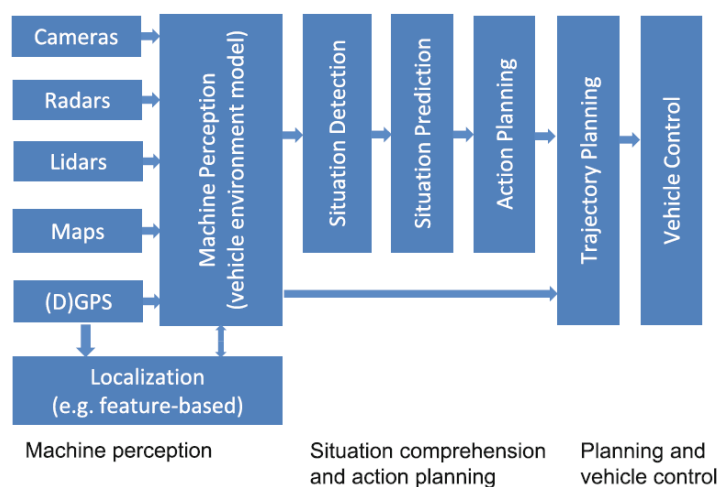
Come già detto nel capitolo 2.2, gli AGV non sono altro che una specializzazione degli agenti intelligenti, e come tali devono essere in grado di percepire in continuazione l'ambiente circostante ed interpretarlo opportunamente per poter guidare in maniera sicura. Il modello di un veicolo a guida autonoma è definito pertanto come il raffinamento del ciclo di vita di un agente generico [Figura 3.1.1]:

- *Percezione dell'ambiente*: l'AGV deve creare un modello virtuale dell'ambiente che lo circonda nella maniera più dettagliata possibile. A questo scopo, il veicolo viene dotato di molteplici sensori (come videocamere, radar, ...) in grado di percepire gli oggetti circostanti (quali strutture, altri veicoli, pedoni, ...). Questi però non bastano a creare un modello preciso dell'ambiente, in quanto i sensori da soli non sono in grado di catturare alcuni elementi, come ad esempio la segnaletica orizzontale. Per raffinare ulteriormente la qualità della percezione, gli AGV vengono dotati quindi di mappe

digitali ad altissima precisione, che permettono di recuperare le informazioni relative alle entità statiche del mondo circostante. Per far sì che questa tecnica funzioni correttamente, il veicolo deve essere dotato di un modulo di auto-localizzazione (es. GPS) per potersi orientare all'interno delle mappe e reperire le opportune informazioni.

Il risultato di questa fase è il modello dettagliato dell'ambiente nelle vicinanze, in cui ciascuna entità statica (struttura, segnaletica verticale e orizzontale, corsia, ...) e dinamica (veicolo, pedone, AGV stesso) viene rappresentata tramite una particolare classe.

- *Comprensione della situazione e pianificazione*: tutti i singoli elementi presenti nel modello generato vengono messi in relazione tra di loro al fine interpretare la situazione corrente (fase di *Situation Recognition*). Partendo poi dalla situazione riconosciuta, vengono calcolate e valutate tutte le possibili evoluzioni di essa (episodi) in base alla probabilità con cui possono accadere (fase di *Situation Prediction*). Il sistema procede quindi a selezionare il più opportuno piano di alto livello da eseguire (come ad es. superare un ostacolo o un veicolo che procede lentamente); quest'ultima fase è detta *Action Planning*.
- *Applicazione del piano selezionato*: il sistema calcola tutte le possibili traiettorie che il veicolo può intraprendere al fine di eseguire il piano selezionato in maniera sicura e confortevole (fase di *Trajectory Planning*). La traiettoria ottimale ottenuta viene infine eseguita (fase di *Vehicle Control*).



[Figura 3.1.1] Modello dell'elaborazione delle informazioni di un AGV.

Questo processo viene ripetuto continuamente in linea con l'acquisizione di dati da parte dei sensori, per far in modo che il veicolo sia in grado di reagire in tempo alle azioni/reazioni di altre entità presenti nell'ambiente.

3.2. Percezione dell'ambiente

La percezione dell'ambiente è la fase più critica che l'AGV deve affrontare, in quanto tutte le successive decisioni si baseranno sul modello generato. Di conseguenza la modellazione dell'ambiente dev'essere effettuata con estrema precisione, in quanto anche solo una lettura errata di un sensore potrebbe comprometterne la corretta interpretazione e la conseguente scelta del piano ottimale da eseguire.

Al fine di osservare l'ambiente circostante, un veicolo a guida autonoma viene dotato di una serie di sensori:

- *Videocamere 2D/3D ad alta risoluzione*: grazie ad algoritmi di image processing, questi sensori sono in grado di individuare le singole entità presenti nell'ambiente circostante (es. veicoli, pedoni, strutture, ...);
- *Mono-camere/Stereo-camere*: particolari camere atte a calcolare la distanza tra il veicolo e tutte le altre entità individuate dalle videocamere ad alta risoluzione. In aggiunta, le mono-camere vengono anche impiegate per il riconoscimento delle corsie. Lo svantaggio delle stereo-camere è che la loro accuratezza diminuisce drasticamente all'aumentare della distanza tra l'AGV e l'entità analizzata;
- *Radar e Lidar*: sensori utilizzati per calcolare la distanza tra il veicolo e un'altra entità, molto più precisi delle mono-camere/stereo-camere in termini di distanza calcolata, ma sono molto più imprecisi nell'individuazione delle forme dell'oggetto in questione, in quanto non forniscono informazioni visive e il loro angolo di azione risulta molto ridotto.

L'integrazione di tutti i dati recuperati da questi sensori (*Sensor Data Fusion*) permette di creare un modello dell'ambiente in cui ciascuna entità statica e dinamica viene rappresentata tramite un modello individuale. Il modulo di sensoristica permette inoltre di recuperare delle informazioni aggiuntive sugli oggetti individuati, quali lunghezza, larghezza, altezza e posizione (assoluta e/o relativa); in aggiunta, per le entità dinamiche,

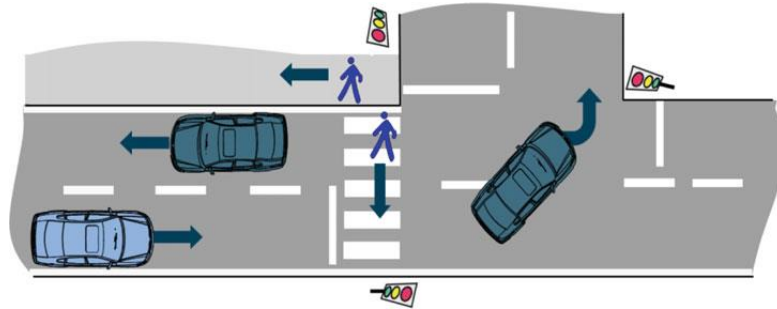
vengono recuperati anche i parametri relativi alla velocità e all'accelerazione.

Oltre alle informazioni sulle dimensioni fisiche delle entità, il sistema necessita anche di conoscere la natura (classe) dell'oggetto in questione (es. pedone, automobile, motociclo, ...) per predire al meglio l'evoluzione della scena (dal momento che i possibili movimenti e gradi di libertà differiscono di classe in classe). La fase di Machine Perception che si occupa di classificare le entità individuate dai sensori è chiamata *fase di classificazione*. In questa fase il sistema sfrutta algoritmi di classificazione basati sul machine learning per confrontare le caratteristiche dell'oggetto analizzato con quelle delle classi a lui conosciute. Vengono man mano scartate tutte le classi che non soddisfano dei particolari requisiti, fino a restituire quella che li rappresenta al meglio. Normalmente questa tecnica risulterebbe molto costosa, ma è utilizzabile nell'ambito della guida autonoma in quanto il numero di classi confrontabili di questo contesto risulta molto ridotto (le entità dinamiche possono essere rappresentate solamente dalle classi pedone, bicicletta, motociclo, automobile e camion). Nel caso in cui l'elemento analizzato non trovi riscontro in nessuna delle classi conosciute, questo viene catalogato con una classe generica e trattato come ostacolo o elemento statico.

Per quanto riguarda gli elementi statici dell'ambiente, è necessario anche determinarne la natura (es. se si tratta di segnaletica orizzontale, verticale, ...) e la semantica. Come già detto nel capitolo 3.1, questa operazione non può essere effettuata con precisione dai sensori, quindi tutte le informazioni di interesse vengono recuperate dalle mappe digitali presenti a bordo del veicolo. Conoscendo la posizione dell'oggetto statico individuato, è possibile risalire alla sua semantica tramite le informazioni dell'oggetto presente nella medesima posizione sulla mappa.

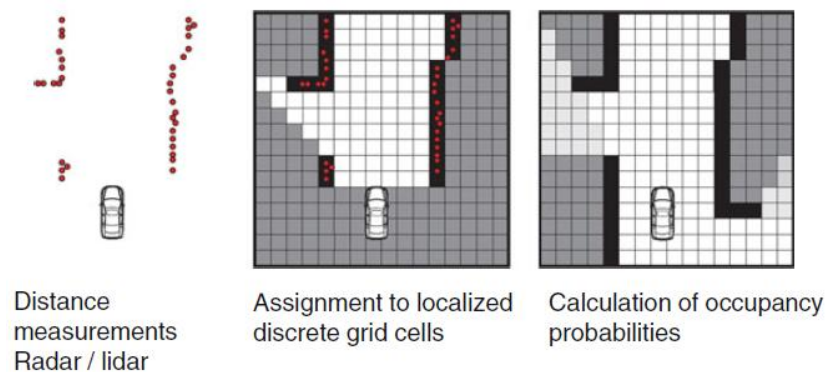
Il modello finale ottenuto nella fase di percezione è un modello che aggrega due tipi di rappresentazione dell'ambiente:

- *Object-Based* [Figura 3.2.1]: struttura dati dinamica, nella quale ciascun oggetto nelle vicinanze del veicolo viene individuato, classificato e rappresentato correttamente sia nello spazio che nel tempo (attraverso un modello individuale) e mantenuto aggiornato in linea ai valori letti dai sensori;



[Figura 3.2.1] Rappresentazione Object-Based dell'ambiente circostante.

- *Grid-Based* [Figura 3.2.2]: struttura dati basata su mappe grezze (2D o 3D) suddivise in celle di ugual dimensione. I sensori definiscono quali sono le celle sulle quali si può transitare e quali rappresentano invece degli ostacoli. Questo tipo di mappa viene utilizzata per identificare tutti gli elementi statici dell'ambiente.



[Figura 3.2.2] Rappresentazione Grid-Based dell'ambiente circostante.

3.3. Robustezza nella percezione dell'ambiente

Come accennato nel capitolo 2.1, una delle proprietà principali dei sistemi autonomi è la robustezza, ossia l'abilità di un sistema nel mantenere le proprie funzionalità a fronte di *perturbazioni* interne/esterne ed *incertezze*. Come sistemi autonomi, anche gli AGV sono soggetti a perturbazioni e incertezze.

In particolare, la fase di percezione dell'ambiente può essere soggetta a tre domini di incertezze:

- *Sullo stato*: incertezza sulle misure fisiche percepite (altezza, posizione, ...) delle entità individuate dai sensori;
- *Sull'esistenza*: insicurezza sull'esistenza effettiva di un particolare oggetto individuato all'interno dell'ambiente. Ciò può esser dovuto da un'errata lettura dei sensori o da inefficienze degli algoritmi di data-processing;
- *Sulla classe*: incertezza sull'assegnazione della corretta semantica ad una particolare entità rilevata. Questo errore può essere causato da un'errata lettura dei sensori o da uno sbaglio commesso dall'algoritmo di classificazione.

Per individuare al meglio le circostanze in cui si verificano queste incertezze, il sistema fa uso di algoritmi basati su approcci totalmente probabilistici (es. Bayes e Dempster-Shafer). Di conseguenza è possibile determinare una soluzione al problema basandosi sul risultato che ha ottenuto la maggior probabilità. Ad esempio, se l'algoritmo di classificazione non è sicuro della classe da assegnare ad un oggetto rilevato, viene applicato l'algoritmo di Bayes, che restituisce la classe con la probabilità maggiore di rappresentare l'entità in questione.

Un altro problema che deve saper gestire il sistema durante la fase di percezione riguarda le possibili perturbazioni a cui può essere soggetto. Quando si parla di perturbazioni ci si riferisce a qualsiasi cambiamento inaspettato, che può essere *interno* (problematica relativa ad un componente interno) o *esterno* (cambiamento improvviso delle condizioni dell'ambiente, come ad esempio il cambio di luminosità, di condizioni meteorologiche, ...). Questi eventi possono essere gestiti in maniera efficace tramite la ridondanza dei sensori. Questa tecnica prevede di sfruttare sensori di diversa natura, al fine di aumentare la precisione della percezione; in questo modo, se vengono individuate delle perturbazioni, il sistema sarà in grado di adeguare al meglio il proprio comportamento.

Come già accennato nei capitoli precedenti, un esempio di ridondanza dei sensori è rappresentato dall'utilizzo di camere, radar e lidar per calcolare la distanza tra l'AGV e un oggetto individuato. I valori letti dai tre dispositivi vengono continuamente messi in relazione tra loro: se si dovesse verificare una perturbazione (dovuta ad esempio al fallimento di un sensore o alla presenza di nebbia/pioggia), l'AGV sarebbe in grado di accorgersene e reagire di conseguenza (ad esempio regolando la propria velocità).

Grazie a queste due tecniche, il sistema è in grado di predire autonomamente le sue capacità di percezione, garantendo sempre un certo livello di sicurezza.

4. Dagli AGV al Vehicular Cloud

Fino ad ora si è parlato di AGV come sistema intelligente in grado di prendere le proprie decisioni in maniera autonoma, al fine di portare a termine un obiettivo imposto dall'utente, minimizzando l'impatto sull'ambiente. Tuttavia, nella situazione attuale i singoli AGV non sono ancora in grado di garantire all'utente il massimo livello di sicurezza, in quanto condividono l'ambiente in cui vivono con i veicoli classici, pilotati dall'uomo, senza avere la possibilità di interagire e coordinarsi con questi. Il prossimo passo evolutivo nel settore automobilistico è proprio quello di passare dai singoli veicoli autonomi ad una rete di veicoli autonomi, detta *Internet of Vehicles*. Questa rete permetterà ai suoi utilizzatori di comunicare tra loro e condividere informazioni per rendere l'esperienza di guida il più sicura e confortevole possibile.

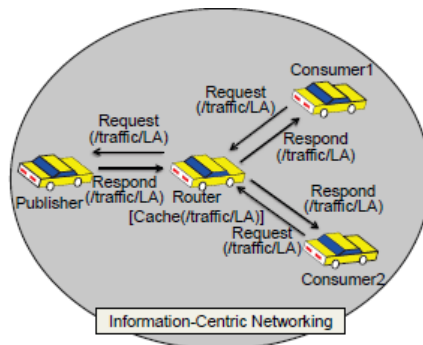
Il concetto che permette la transizione verso l'Internet of Vehicles è detto *Vehicular Cloud*, l'equivalente dell'Internet cloud per i veicoli, e fornirà tutti i servizi richiesti dagli AGV per muoversi all'interno dell'ambiente (instradamento, ricerca contenuti, protezione da attacchi hacker, ...) attraverso delle opportune interfacce.

4.1. Vehicular Cloud

I veicoli si stanno evolvendo rapidamente da semplici consumatori di dati ad agenti intelligenti in grado di collaborare tra loro. Questa sezione ha lo scopo di discutere le caratteristiche principali dell'ambiente fornito dal Vehicular Cloud, che rappresenta il futuro della guida autonoma.

L'idea principale del Vehicular Cloud è quella di creare una sorta di cloud locale relativo ad una determinata area di interesse (es. centro di una città, autostrada, ...), all'interno del quale ciascun contenuto generato dagli AGV può essere ricercato dai veicoli vicini. Il modello che rappresenta quanto descritto è detto *Vehicular Cloud Computing* (VCC) e si ispira al Cloud Computing tradizionale, con la differenza che tutti i contenuti generati vengono memorizzati sui veicoli appartenenti alla rete piuttosto che su Internet, al fine di mantenere l'architettura il più scalabile possibile. Questo modello permette di sfruttare le risorse computazionali dei veicoli per creare un cloud all'interno del quale vengono prodotti, mantenuti, ricercati e consumati servizi, facendo quindi acquisire al sistema complessivo la proprietà di auto-organizzazione.

Gli AGV all'interno della rete sono in grado di interagire e coordinarsi tra loro grazie all' *Information Centric Networking* [Figura 4.1.1]. Questa architettura di comunicazione permette agli agenti di recuperare informazioni distribuite, basandosi sul contenuto desiderato piuttosto che sulla sua locazione. Il funzionamento è molto semplice: il consumatore invia una richiesta a tutti i veicoli nelle vicinanze contenente il nome della risorsa desiderata, e tutti coloro che possiedono una risorsa che corrisponde a tale nome, la rispediscono indietro con il relativo valore. A questo punto il consumatore utilizza la risorsa e decide se memorizzarla in cache per diventare a sua volta un fornitore.



[Figura 4.1.1] Architettura Information Centric Networking.

Questa architettura, promuovendo il disaccoppiamento tra fornitore e consumatore (al consumatore non interessa chi gli fornisce le risorse, mentre al fornitore interessa solamente di agire in maniera efficiente), aumenta ulteriormente la scalabilità dell'intero sistema.

Le risorse che possono essere condivise dai veicoli e dalle RSU (Road Side Unit, ossia entità computazionali fisse presenti nell'ambiente, come ad esempio antenne e videocamere), possono essere di tre tipologie:

- *File multimediali*, generati dai sensori e dalle applicazioni presenti sui veicoli;
- *Sensori*;
- *Risorse computazionali*.

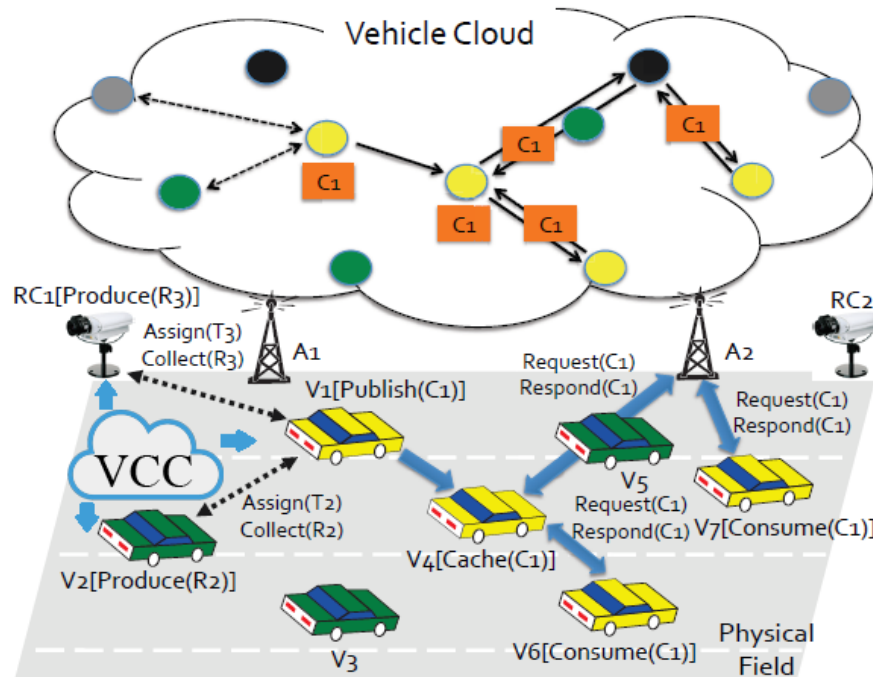
Le risorse sono interconnesse tra di loro in maniera puramente peer-to-peer. Per aumentare l'efficienza di interazione, i veicoli possono candidarsi come *broker*, assumendosi la responsabilità della gestione delle operazioni nel cloud. Anche gli RSU, nonostante le loro scarse capacità computazionali e di memorizzazione, sono dei buoni candidati a diventare broker, in quanto posseggono una connessione affidabile ai veicoli circostanti.

4.2. Auto-organizzazione degli AVG

In quest'ultima sezione viene descritto un esempio pratico [Figura 4.2.1] di come gli AGV (ed RSU) siano in grado di coordinarsi tra loro per creare, gestire e mantenere in maniera autonoma un cloud locale, al fine di mappare nel dettaglio un'area di interesse e potersi muovere all'interno di essa in totale sicurezza.

Supponiamo che un veicolo (V1) abbia bisogno delle informazioni relative a tre segmenti di strada (T1, T2 e T3) per poter navigare in maniera autonoma, ma che abbia a disposizione le informazioni di un solo tratto (T1). Per recuperare le informazioni mancanti, il veicolo decide di auto-organizzarsi come Vehicular Computing Cloud (eleggendosi cloud leader); invia quindi una richiesta RREQ a tutti i veicoli/RSU presenti nei tratti di interesse, al fine di reclutare agenti in grado di portare a termine l'obiettivo (fase di *ricerca delle risorse*). A questo punto il cloud leader seleziona alcuni membri da aggiungere al cloud tra quelli che hanno risposto tramite un messaggio RREP (fase di *formazione del cloud*). Supponiamo che il cloud sia formato ora dal leader (V1), da un

altro veicolo (V2, in prossimità di T2) e da una telecamera (RC1, in prossimità di T3). Il leader richiede quindi ai nuovi membri di recuperare le informazioni a lui mancanti (fase di *assegnazione dei processi e raccolta dei risultati*). Una volta ricevute le informazioni desiderate, il cloud leader le processa per ottenere la mappa completa dell'ambiente circostante. Questo nuovo contenuto verrà utilizzato dall'applicazione del veicolo per la guida autonoma, e allo stesso tempo verrà condiviso con dei veicoli nelle circostanze (al di fuori del cloud) per un eventuale riutilizzo futuro (fase di *pubblicazione e condivisione del contenuto*). Nel caso in cui uno dei membri decidesse di uscire dal cloud (es. il veicolo V2 si allontana troppo dalla zona di interesse), dovrebbe comunicarlo al leader tramite un messaggio di uscita; quest'ultimo procederà a sostituire l'agente uscente con uno di quelli precedentemente scoperti in fase di discovery (con sufficienti risorse computazionali) e riassegnando eventualmente i processi lasciati in sospeso (fase di *auto-manutenzione*). Una volta allontanatosi dall'area di interesse, il cloud leader può sciogliere il cloud locale inviando un messaggio di release a ciascun membro di esso (fase di *scioglimento del cloud*).



[Figura 4.2.1] Auto-organizzazione degli AGV all'interno del Vehicle Cloud.

5. Conclusioni

Questa relazione ha dimostrato quanto sia fondamentale il fattore autonomia nel contesto della guida di tutti i giorni. Partendo dall'analisi della pericolosità della guida di veicoli classici, si è giunti alla conclusione che gli AGV sarebbero in grado di ridurre drasticamente il numero di incidenti su strada. Tuttavia, i singoli veicoli autonomi non sono in grado di garantire una sicurezza totale, in quanto condividono l'ambiente con veicoli classici ed hanno una percezione limitata dell'ambiente (basata esclusivamente sui dispositivi integrati).

Il livello di sicurezza ottimale sarà raggiungibile solamente nel momento in cui l'ambiente sarà composto esclusivamente da AGV in grado di comunicare tra di loro per avere una percezione più ampia e dettagliata del mondo circostante.

Si stima che l'utilizzo del Vehicular Cloud permetterà ai veicoli di gestire in maniera ottimale il flusso del traffico, anche in situazioni critiche. Ad esempio, in una situazione di calamità naturale, i veicoli permetteranno ai passeggeri di allontanarsi dalla zona di pericolo nella maniera più veloce e ordinata possibile, sfruttando tutte le vie di fuga disponibili, ed evitando quindi la congestione delle strade principali.

6. Riferimenti

1. I.J.Cox, J.T.Wilfong – Autonomous Robot Vehicles;
2. Hong Cheng - Autonomous Intelligent Vehicles. Theory, Algorithms, and Implementation;
3. Thomas Leo McCluskey, Apostolos Kotsialos, Jörg P. Müller, Franziska Klügl, Omer Rana, René Schumann - Autonomic Road Transport Support Systems;
4. Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz, Hermann Winner - Autonomous Driving;
5. Mario Gerla, Eun-Kyu Lee, Giovanni Pau, Uichin Lee - Internet of vehicles From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds;
6. Apice - <http://apice.unibo.it/>;
7. Wikipedia - <https://it.wikipedia.org/>;
8. SlideShare - <https://www.slideshare.net/>;