



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

“CAN-BUS e IMU: applicazioni nei motocicli”

Relatore: Prof. Giorgi Giada

Laureando: Magagna Riccardo

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

Data di laurea 18-07-2024

INDICE

ACRONIMI.....	2
INTRODUZIONE	3
Capitolo 1: FONDAMENTI.....	4
1.1 - IMU: INERTIAL MEASUREMENT UNIT	5
1.2 - PROTOCOLLO CAN-BUS.....	8
1.3 - ABS E ABS CORNERING	10
Capitolo 2: APPLICAZIONE AI MOTOCICLI	13
2.1 - IMU SUL VEICOLO.....	13
2.2 - ANALISI DELLA RETE CAN-BUS	18
2.3 - SIMULAZIONE DEI NODI DI RETE.....	23
Capitolo 3: IMPLEMENTAZIONI FUTURE.....	26
CONCLUSIONI.....	28
BIBLIOGRAFIA	29
SITOGRAFIA	30

ACRONIMI

- ABS: ANTILOCK BRAKING SYSTEM
- ADAS: ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEM
- CAN: CONTROLLER AREA NETWORK
- DOF: DEGREE OF FREEDOM
- ECU: ENGINE CONTROL UNIT
- IMU: INERTIAL MEASUREMENT UNIT
- MEMS: MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM
- TCS: TRACTION CONTROL SYSTEM

INTRODUZIONE

Questo lavoro di tesi nasce dalla sinergia di diverse entità ed esperienze che hanno permesso di effettuare prove e studi su un modello di motociclo in fase di sviluppo, tra le quali l'esperienza maturata all'interno dei progetti "MotoStudent" e "Quarto di Litro" supportati dall'Università di Padova e il successivo stage presso l'azienda Fantic Motor.

Questo studio vuole indagare la possibilità di applicare tecnologie di uso comune al campo dell'automotive ed in particolare dei motocicli. La tecnologia in questione è la piattaforma inerziale (IMU, Inertial Measurement Unit) che viene sfruttata nelle autovetture e nei motocicli per ottenere informazioni sulla condizione dinamica del veicolo in movimento. Queste informazioni vengono successivamente utilizzate per implementare sistemi di aiuto alla guida e sistemi di sicurezza. Il mio studio si è concentrato in particolar modo sul CORNERING ABS (Antilock Braking System).

Lo scambio di informazioni della piattaforma inerziale alla centralina avviene mediante comunicazione sulla rete CAN-BUS (Controller Area Network) del veicolo; per questo motivo è stata approfondita l'analisi riguardante i messaggi che vengono scambiati tra le varie centraline che gestiscono tutta la parte elettronica del motociclo.

La tesi si sviluppa come segue:

- Nel primo capitolo vengono esposti gli strumenti fondamentali coinvolti, analizzando ogni tecnologia in modo dettagliato.
- Nel secondo capitolo viene presentata una situazione esemplificativa di come queste tecnologie possano essere implementate tra loro, con un sistema di analisi e simulazione dei messaggi.
- Nel terzo capitolo vi sono alcune considerazioni in merito al lavoro svolto e alle possibili implementazioni future di queste tecnologie in ambito motociclistico.

Capitolo 1: FONDAMENTI

In questo primo capitolo vengono fornite informazioni in merito agli strumenti fondamentali utilizzati per la realizzazione di questo progetto: la IMU, il protocollo CAN-bus e la tecnologia ABS.

La tecnologia dell'ABS è oggi assai nota e obbligatoriamente presente per legge su auto e moto di nuova produzione (rispettivamente dal 2004 e 2016). Un'evoluzione di tale tecnologia è il suo impiego durante l'esecuzione di una curva, garantendo maggior sicurezza ed evitando incidenti. Nelle moto attuali oltre alla ECU (Engine Control Unit), ovvero la centralina che si occupa della gestione motore, vi sono anche una centralina che gestisce l'ABS e la dashboard, la quale, avendo un'elettronica interna, può essere considerata come un'ulteriore centralina responsabile della comunicazione tra la motocicletta e il rider. Tutti questi dispositivi, per comunicare tra di loro, sfruttano appunto il protocollo CAN-bus che vedremo più nello specifico nel capitolo 1.1.

In ognuna delle sezioni di questo capitolo verranno analizzate le tecnologie utilizzate nel progetto: IMU (Unità di Misurazione Inerziale), protocollo CAN-BUS e ABS.

1.1 - IMU: INERTIAL MEASUREMENT UNIT

L'IMU (Inertial Measurement Unit) è un sistema costituito da accelerometri e giroscopi che rilevano, con elevata precisione, in tempo reale, le misure di accelerazione e movimento inerziale di un corpo.

I primi sistemi giroscopici risalgono all'inizio del XX secolo, ma fu negli anni '30 che il primo sistema di navigazione basato su riferimenti inerziali venne usato su un razzo militare. Vi furono poi continui sviluppi finché, con il Programma Apollo¹, si diede un'importante spinta alla miniaturizzazione tecnologica di questo sistema poiché da esso dipendeva la vita degli astronauti.

Attualmente questa tecnologia, è ampiamente presente in molti dispositivi elettronici di uso comune e trova impiego nei settori più diffusi come la robotica, l'industria automobilistica, i dispositivi come tablet e smartphone.

Le IMU più comuni sono quelle a 6 gradi di libertà (6-DOF), composte da componenti elettronici basati sulla tecnologia MEMS (sistemi micro-elettro-meccanici), che comprendono un accelerometro lineare a tre assi e un giroscopio angolare a tre assi. Nel caso specifico, si fa riferimento a una IMU a 9 gradi di libertà (9-DOF), che include, oltre all'accelerometro e al giroscopio, anche un magnetometro.

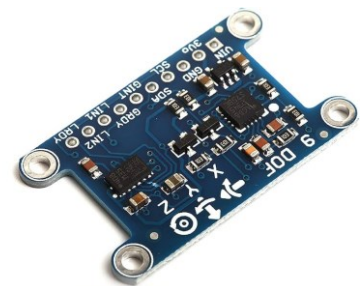


Figura 1: IMU 9-DOF per Arduino

I dati grezzi (RAW) forniti direttamente in uscita dalla IMU devono essere opportunamente processati per ottenere un dato finale affidabile e ridurre al minimo il rumore e gli errori.

Il primo passo consiste nell'applicare un filtro passa-alto ai dati RAW provenienti dai sensori, al fine di ridurre il rumore a larga banda, nel range di frequenze di non interesse².

Il secondo passo consiste nel calcolo degli angoli: combinando i dati ottenuti dagli accelerometri e dai giroscopi e applicando il metodo "*Complementary Filter*" e/o il metodo "*Kalman Filter*" come riportato di seguito.

¹ Programma spaziale statunitense che portò allo sbarco dei primi uomini sulla luna.

² Tran, L. (Giugno 2017). *Data Fusion with 9 Degrees of Freedom Inertial Measurement Unit To Determine Object's Orientation*. California Polytechnic State University, Electrical Engineering Department, San Luis Obispo (CA).

- **Complementary Filter:** consente di combinare i dati provenienti dagli accelerometri e dai giroscopi. Poiché gli accelerometri tendono a offrire migliori prestazioni a basse frequenze, mentre i giroscopi a frequenze più elevate; questo filtro consente di sfruttare al meglio le caratteristiche di entrambi i sensori. La sua formula, che si sviluppa in modo ricorsivo, è la seguente:

$$\theta_n = \alpha * (\theta_{n-1} + g_{data} * \Delta t) + (1 - \alpha) * a_{data}$$

I cui termini sono definiti come segue:

- θ_n = angolo risultante dal calcolo [deg]
- α = peso che viene attribuito ai dati provenienti dai giroscopi
- g_{data} = dati RAW dal giroscopio [deg/s]
- a_{data} = angolo di rotazione calcolato dagli accelerometri [deg]

Sperimentalmente i risultati migliori sono stati ottenuti impostando α intorno a 0.98 e quindi $\alpha - 1$ di circa 0.02. Questa equazione evidenzia la natura ricorsiva del filtro: l'angolo ottenuto è composto, ad esempio, per il 98% dall'angolo precedente e per il 2% dagli angoli nuovamente calcolati dagli accelerometri e giroscopi. Le percentuali vanno adattate attraverso test specifici, in base all'applicazione.

- **Kalman Filter:** è un algoritmo che sfrutta informazioni sul modello e le osservazioni precedenti per stimare gli angoli con maggiore precisione rispetto a una singola misura. La trattazione teorica di questo filtro esula dallo scopo di questa tesi.

I dati ottenuti dai sensori, elaborati dai due filtri sono pronti per essere trasmessi sulla rete CAN bus del veicolo.

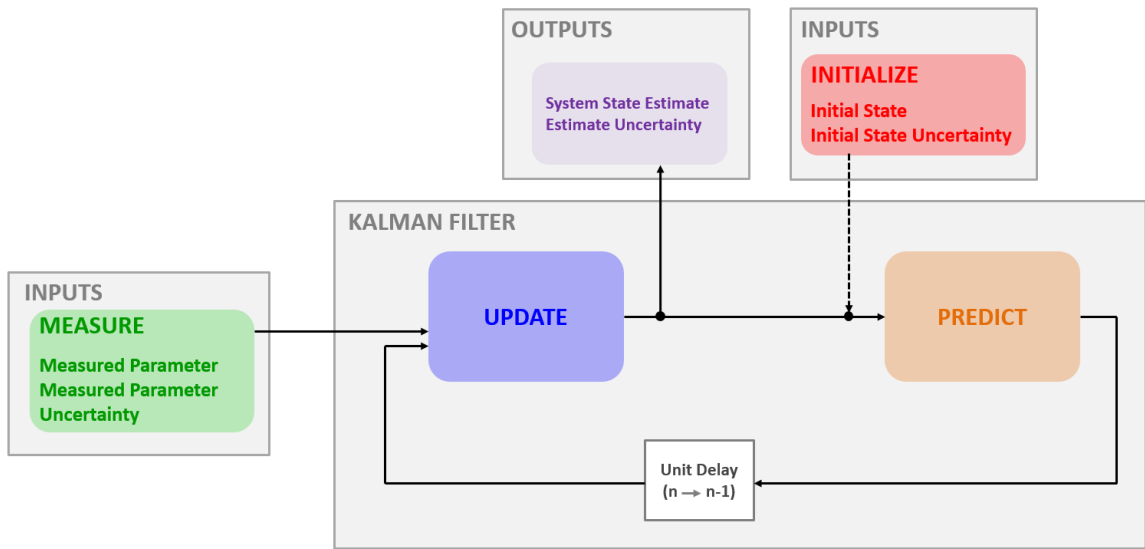


Figura 2: Schema di funzionamento del Kalman Filter



Figura 3: IMU per uso automotive

1.2 - PROTOCOLLO CAN-BUS

Il secondo elemento, fondamentale per il progetto, è il protocollo CAN-BUS, Controller Area Network³: sviluppato nel 1986 dalla Robert Bosch GmbH è uno standard di comunicazione asincrona caratterizzato da alta velocità di trasmissione, bassi costi e un insieme di strumenti per rilevare e correggere gli errori. Queste qualità ne fanno un sistema estremamente affidabile e robusto, particolarmente adatto per l'utilizzo nell'industria e nel settore automotive.

I messaggi inviati tramite rete CAN si caratterizzano per l'assenza di indirizzi per mittente e destinatario, e sono etichettati in base al loro contenuto. Questo permette alle unità connesse alla rete di individuare e utilizzare solo i messaggi rilevanti per le loro funzioni, un aspetto che esamineremo più approfonditamente nel proseguo del progetto.

Un'altra caratteristica importante del protocollo CAN-BUS è l'identificatore univoco per i messaggi lungo l'intera linea di comunicazione, garantendo una corrispondenza definita tra il messaggio e il suo contenuto: ciò conferisce una notevole flessibilità al CAN, permettendo l'aggiunta e la rimozione di nodi alla rete senza la necessità di modifiche hardware.

Il protocollo CAN, essendo standardizzato, segue una struttura specifica del messaggio con una precisa suddivisione dei bit:

- **SOF** (Start of Frame): identifica l'inizio del messaggio;
- **ARBITRATION FIELD**: contiene l'identificatore unico del messaggio e il bit RTR(Remote Transmission Request). Quest'ultimo identifica se il messaggio è un "Data Frame" oppure un "Remote Frame";
- **CONTROL FIELD**: questo campo raggruppa diversi segnali. Il primo bit IDE permette di definire tra il formato STANDARD oppure ESTESO mentre gli ultimi 4 bit chiamati DLC identificano il numero di bytes che compongono il campo DATA FIELD;
- **DATA FIELD**: contiene il vero e proprio corpo del messaggio, la sua lunghezza può variare da 0 a 8 bytes;
- **CRC FIELD**: 16 bit, viene usato dal nodo ricevente per capire se il messaggio ricevuto è corretto oppure si siano verificati errori nella trasmissione;
- **ACK FIELD**: 1 bit che è recessivo e diventa dominante nel momento in cui il messaggio viene ricevuto correttamente.
- **END OF FRAME**: identifica la fine del messaggio.

³ Buso, S. (s.d.). Lezione 8.1- Comunicazione Seriale.

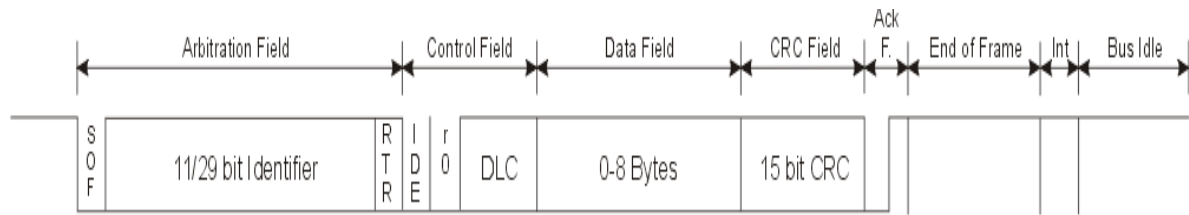


Figura 4: Struttura di un messaggio CAN

Esaminata la struttura di un messaggio nel CAN, procediamo ora riconoscere e comprendere i diversi tipi di messaggi presenti nell'analisi della rete del CAN-BUS, i quali sono classificati convenzionalmente in quattro tipologie:

- **DATA FRAME:** è il vero e proprio messaggio che contiene le informazioni da trasmettere sulla rete.
- **REMOTE FRAME:** è formalmente come il DataFrame, con la differenza che è espressamente segnalato con il bit “RTR” recessivo all’interno del campo ‘Arbitration’, inoltre non contiene il campo ‘Data Field’. Questo messaggio viene usato per sollecitare l’invio del DataFrame con il corrispondente ‘Arbitration Field’, creando così una sorta di ‘request-response’ mode.
- **ERROR FRAME:** è un semplice messaggio che viene inviato qualora un nodo della rete rilevi un errore nei messaggi della rete. Il nodo trasmettitore provvederà quindi a inviare nuovamente il messaggio.
- **OVERLOAD FRAME:** è simile all’*ERROR FRAME* e viene trasmesso da un nodo qualora questo sia occupato. Con lo sviluppo della tecnologia CAN, questo messaggio viene usato sempre meno, grazie all’evoluzione del protocollo che riesce a gestire in modo ottimale il traffico distribuito tra i vari nodi.

Il modello più comune della rete CAN segue lo standard ISO 11898-2: questo schema si basa su un sistema a due cavi di segnale bilanciati, la cui lunghezza influisce sulla massima velocità di trasmissione dei messaggi sulla rete. Nel contesto automotive, le lunghezze dei cavi sono progettate per consentire la trasmissione a velocità di 500 Kbit/s o 1 Mbit/s, il che spiega perché la rete CAN è spesso identificata come una rete "high-speed".

In conformità con la norma ISO 11898, la rete richiede due terminazioni agli estremi, tipicamente sotto forma di resistori da 120 Ohm ciascuno. Nei veicoli, spesso questi resistori vengono incorporati nei nodi connessi alla rete, in modo che i nodi possano essere aggiunti e rimossi dalla rete in modo plug and play.

1.3 - ABS E ABS CORNERING

Il terzo elemento che serve analizzare per il progetto è il sistema ABS (Antilock Braking System) ovvero il sistema di antibloccaggio dei freni: è stato introdotto per la prima volta su un'automobile Volvo nel 1974, mentre la casa automobilistica tedesca BMW lo ha implementato sui modelli serie K nel 1988. Negli anni più recenti, l'ABS è diventato obbligatorio per legge: dal 2004 su tutte le autovetture e dal 2016 per tutti i motocicli con cilindrata superiore a 125 cm³.

L'obiettivo principale di questo sistema di sicurezza, come suggerisce il nome, è quello di evitare il bloccaggio delle ruote durante la frenata. Utilizzando degli encoder, posizionati uno su ciascuna ruota, composti da un trasduttore e da una ruota fonica (Fig 5), la centralina ABS è in grado di rilevare la velocità di ciascuna ruota.



Figura 5: Sistema rilevazione velocità ruota



Figura 6: Pompa del sistema ABS

Un impianto frenante che comprenda l'ABS, quindi, non è più un impianto che collega direttamente la pompa del freno alla pinza, ma la pressione dell'impianto viene modulata da una pompa interposta tra la pompa e la pinza, gestita appunto dalla centralina ABS.

Il funzionamento teorico dell'ABS è piuttosto semplice: durante una frenata, se una ruota rischia di bloccarsi, la centralina interviene regolando la pressione sull'impianto frenante, quest'azione permette allo pneumatico di mantenere l'aderenza all'asfalto senza bloccarsi, evitando quello che in gergo viene chiamato "pattinamento" sull'asfalto, consentendo al veicolo di mantenere la capacità di sterzata e la maneggevolezza.

Un secondo effetto importante è la riduzione della distanza di frenata. La forza che lo pneumatico esercita sul terreno dipende dallo "slip", ovvero dallo scivolamento dello pneumatico sull'asfalto.

La formula dello slip è $s = \frac{v(t) - w(t) * R}{v(t)}$ dove:

- $v(t)$ = la velocità del veicolo
- $w(t)$ = componente della velocità della ruota in direzione $v(t)$
- R = raggio della ruota

Secondo i coefficienti descritti negli studi del Professore Pacejka⁴, il blocco della ruota avviene quando $s=1$, mentre la massima forza di attrito tra pneumatico e suolo si raggiunge per valori di s compresi tra 0.05 e 0.15.

Il sistema ABS è appunto progettato per riuscire a mantenere il coefficiente di attrito all'interno di questo margine di sicurezza durante una frenata improvvisa oppure in una frenata su terreno sdruciolevole.

Recentemente sui veicoli a due ruote è stata introdotta un'evoluzione dell'ABS chiamata *ABS CORNERING*. Questo nuovo sistema è stato possibile grazie all'introduzione delle piattaforme inerziali che forniscono informazioni dettagliate sullo stato dinamico del veicolo in movimento.



Figura 7: Funzionamento ABS in curva

Combinando questi dati con quelli sulle velocità delle ruote è possibile controllare, mediante appositi algoritmi, la pressione sui freni anteriori o posteriori, influenzando così il comportamento dinamico del veicolo.

L'obiettivo principale di questa tecnologia è prevenire e ridurre il rischio di caduta "*LOW SIDE*": una situazione in cui la moto perde aderenza durante una curva, dovuta al bloccaggio delle ruote a causa di una frenata eccessiva.

Un ulteriore vantaggio dell'ABS CORNERING è la possibilità, in caso di frenata d'emergenza in curva, di non dover arrestare il veicolo ma di riuscire a proseguire la traiettoria durante la curva (come evidenziato nell'immagine sottostante) contribuendo a incrementare ulteriormente la sicurezza su strada.

⁴ Tire and Vehicle Dynamics – Hans B. Pacejka

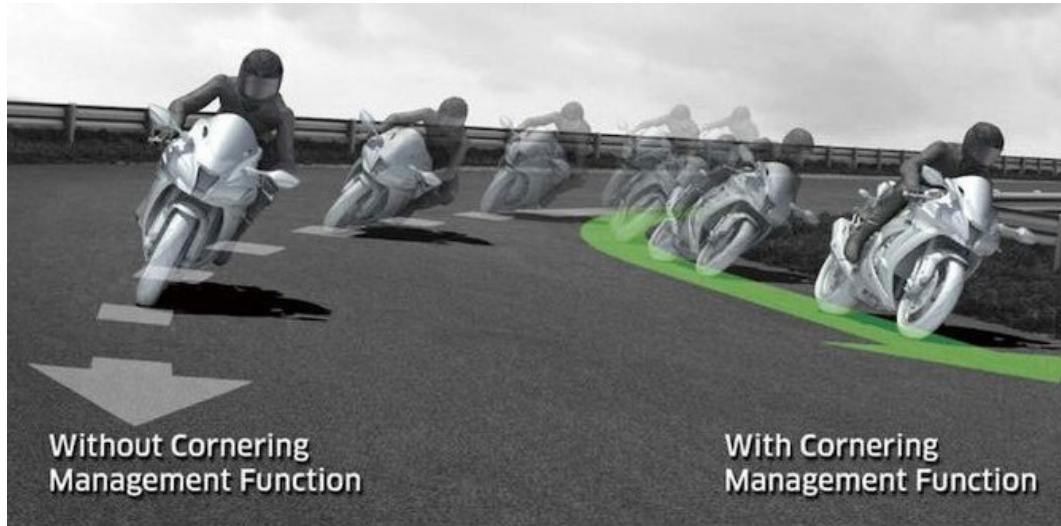


Figura 8: Differenza di traiettoria senza e con ABS Cornering

Capitolo 2: APPLICAZIONE AI MOTOCICLI

Nel primo capitolo abbiamo introdotto gli elementi tecnologici fondamentali per la comprensione e realizzazione del progetto.

In questo secondo capitolo esamineremo come si possano integrare le diverse tecnologie presentate nel capitolo 1 per creare un sistema stabile ed affidabile ponendo l'accento sull'applicazione ai motocicli e sull'uso della rete CAN bus.

2.1 - IMU SUL VEICOLO

Lo scopo principale di questa fase consiste nell'adattare l'uso dell'IMU al motociclo procedendo alla calibrazione della piattaforma inerziale, con l'obiettivo di ottenere le informazioni di ROLL e PITCH sul CAN-BUS, ossia rispettivamente l'angolo di inclinazione laterale e di beccheggio del veicolo (*Fig 9*).



Figura 9: ROLL e PITCH nel motociclo

Il primo passo nell'integrazione della piattaforma inerziale sul veicolo è la determinazione del posizionamento ottimale della centralina, spesso realizzato mediante software di progettazione 3D.

Considerando che la piattaforma sfrutta un algoritmo basato su misure inerziali per stimare gli angoli, è cruciale porre particolare attenzione a due aspetti durante la fase di posizionamento:

- in primis (come evidenziato nella figura 9) è necessario l'allineamento perfetto dell'asse Z del veicolo con quello dell'IMU. Sebbene l'algoritmo interno dell'IMU consenta

correzioni software per le misurazioni intorno agli assi X e Y, non è in grado di intervenire sull'asse Z.

- Inoltre, è essenziale prestare attenzione alle vibrazioni trasmesse dal veicolo all'IMU, poiché vibrazioni eccessive possono influire negativamente sui risultati e sulla durata dell'hardware stesso. Un utilizzo costante degli accelerometri e giroscopi ai massimi limiti di funzionamento potrebbe causarne l'usura nel tempo, compromettendo l'affidabilità e l'efficienza del sensore.

Una soluzione comunemente adottata da alcune case produttrici, per risolvere questa problematica, è quella di ancorare la centralina della piattaforma inerziale ad un'apposita staffa, la quale a sua volta viene fissata al veicolo tramite dei gommini smorzanti. L'obiettivo è quello di ridurre la trasmissione delle vibrazioni, soprattutto quelle ad alta frequenza, dal veicolo al sensore per permettere a quest'ultimo di lavorare nelle migliori condizioni.

Un esempio di questo tipo di montaggio è illustrato in figura 10.



Figura 10: IMU montata sulla staffa

Il posizionamento viene selezionato dopo specifici studi sulle vibrazioni al fine di individuare un punto del veicolo che ne sia meno soggetto. Solitamente, le posizioni più indicate sono lo spazio sotto la sella o dietro il cruscotto del veicolo, tuttavia, questa scelta varia in base al veicolo considerato, dato che ogni modello ha vibrazioni caratteristiche diverse, come vedremo nel proseguo di questa trattazione.



Figura 11: Moto su banco prova

Dopo aver installato l'IMU, si procede mettendo il veicolo su un banco prova e facendo delle acquisizioni a veicolo acceso: si registrano i dati RAW generati dalla IMU, prima che questi

vengano elaborati dall'algoritmo, in modo tale da eseguire un'analisi sulle misurazioni dei sensori e verificarne le condizioni di funzionamento.

Occorre prestare particolare attenzione al fatto che essi non operino in regime di saturazione, ovvero a ridosso dei propri limiti di funzionamento progettuali. Quest'ultima situazione comprometterebbe la corretta stima degli angoli e, cosa più grave, potrebbe, a lungo andare, danneggiare l'hardware del sensore, impattando negativamente sull'affidabilità dell'intero sistema.

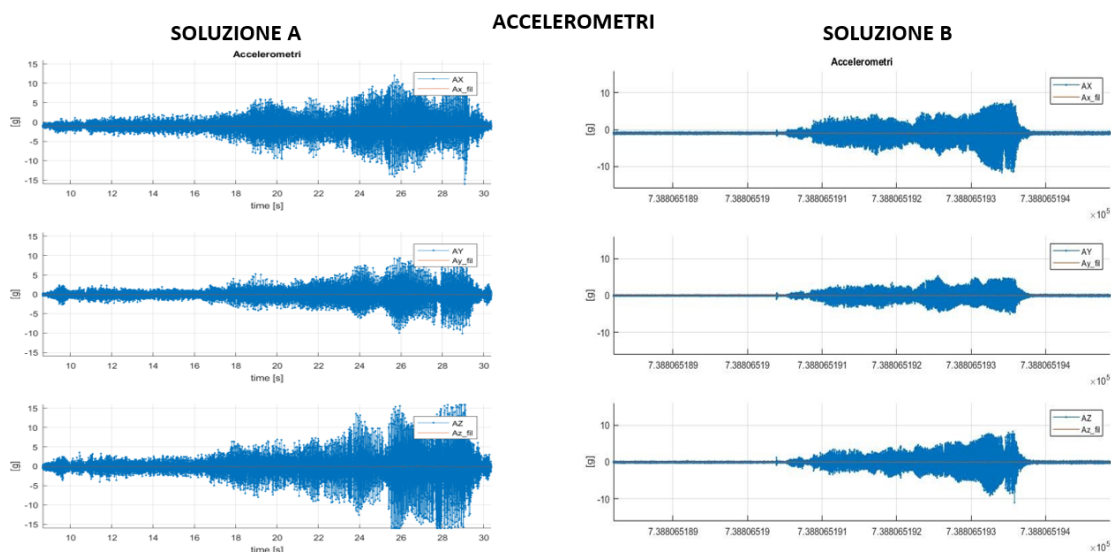


Figura 12: acquisizione dati ACCELEROMETRI

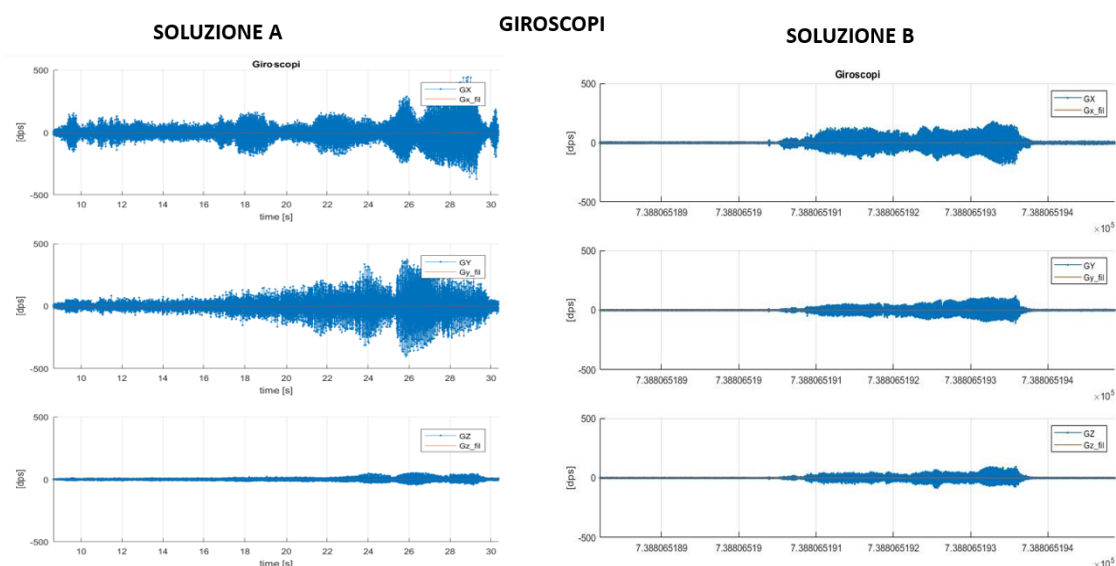


Figura 13: acquisizione dati GIROSCOPI

Nei grafici di Fig. 12 e 13 sono riportate due diverse acquisizioni, suddivise in accelerometri e giroscopi, eseguite con la centralina fissata al motociclo tramite due diversi sistemi: soluzione A e soluzione B.

- "*SOLUZIONE A*": utilizza un supporto rigido per ancorare, tramite viti e dadi, la centralina direttamente al telaio veicolo. Con questo sistema la IMU è soggetta ad un'elevata quantità delle vibrazioni generate dal veicolo stesso. È sufficiente visualizzare i dati per comprendere come in diversi punti i sensori arrivino a saturazione, superando anche il limite massimo di progettazione di ± 500 °/s per i giroscopi e $\pm 16g$ per gli accelerometri.
- "*SOLUZIONE B*": utilizza un sistema di fissaggio ammortizzato realizzato con materiali che assorbono e riducono le vibrazioni. I benefici, come si può notare dai grafici, sono evidenti con una significativa diminuzione delle vibrazioni e la riduzione dei limiti massimi degli accelerometri da $\pm 16g$ a $\pm 10g$, e dei giroscopi da ± 500 °/s a ± 200 °/s. In seguito a test più approfonditi, questa soluzione è ritenuta la più idonea per il montaggio definitivo della centralina sul veicolo.

Dopo aver fissato la centralina, è necessario validare le stime prodotte dal sensore. È essenziale verificare la coerenza e l'affidabilità degli angoli calcolati dal sensore rispetto alla reale posizione del veicolo durante il movimento.

Per realizzare ciò, vengono installati alcuni sensori sulla moto al fine di rilevare accuratamente la sua posizione effettiva del veicolo:

- due potenziometri lineari posizionati sulle sospensioni anteriore e posteriore per misurare la corsa delle sospensioni;
- due misuratori di distanza a laser collocati sul fianco e sul retro della moto attraverso supporti dedicati.

Tutti i sensori, compresa la centralina IMU, vengono collegati ad un sistema di acquisizione dati esterno che registra i parametri del veicolo durante le manovre eseguite da un pilota professionista su un circuito chiuso.

Per ottenere la reale posizione dinamica del veicolo, i dati raccolti dai potenziometri lineari e dai laser vengono combinati, per poterli poi confrontare con quelli generati dall'IMU. L'obiettivo di quest'analisi è quello di impostare i parametri dei filtri *COMPLEMETARE* e di

KALMAN testando l'algoritmo dell'IMU al fine di ottenere una corrispondenza perfetta tra gli angoli stimati dalla IMU e quelli reali ottenuti dai sensori lineari e dai laser.



Figura 14: Laser e potenziometri lineari installati sulla moto

Dopo aver svolto numerose prove e verificata la corrispondenza tra i dati rilevati dall'IMU e quelli provenienti dai sensori fisici, è possibile considerare correttamente configurato il sensore della piattaforma inerziale.

A questo punto, gli angoli stimati dalla centralina possono essere convalidati, in quanto essa è in grado di rilevare la posizione del veicolo in ogni condizione di marcia.

Il sensore è pronto per la trasmissione dei dati sulla rete CAN, dove saranno accessibili e utilizzabili dai nodi che necessitano di queste informazioni per il proprio funzionamento.

2.2 - ANALISI DELLA RETE CAN-BUS

Nel paragrafo precedente è stato descritto il processo attraverso cui vengono resi disponibili sulla rete CAN i dati di ROLL e PITCH, validati ed affidabili.

È necessario procedere ora con l'analisi dell'intera rete CAN-BUS del veicolo, esaminare i sistemi presenti e le loro interazioni su un veicolo a due ruote di concezione moderna, considerando tutte le variabili, i messaggi e le tempistiche implicati nella comunicazione.

I messaggi della comunicazione CAN sono definiti preventivamente tra tutte le entità coinvolte: ogni costruttore fornisce un elenco di messaggi che la centralina si aspetta di trovare sul CAN-BUS per funzionare in base ai propri criteri costruttivi e specifica quali sono i messaggi trasmessi dalla stessa sulla rete.

Nel caso oggetto di studio, i messaggi riguardano l'IMU, la centralina ABS, l'ECU (Engine Control Unit, centralina di controllo motore) e la DASHBOARD (strumento che permette al guidatore di conoscere le informazioni relative al veicolo durante la guida).

Tutti i messaggi sono contenuti in un file, condiviso tra tutti i costruttori, con estensione *".dbc"* (*database can*): uno standard che unifica tutti i messaggi e serve come riferimento per analizzare e risolvere eventuali problemi nella comunicazione. Per fare in modo che il sistema, nel complesso, funzioni perfettamente, ogni costruttore deve implementare nelle proprie centraline i messaggi contenuti nel file *".dbc"* garantendo così la coerenza del sistema.

All'interno di questo file vengono definiti i campi che caratterizzano i messaggi CAN contenenti i segnali.

È possibile notare (*fig.15*) come ciascun messaggio presenti attributi quali:

- *NAME*: nome del messaggio;
- *ID HEX*: indirizzo del messaggio in formato esadecimale;
- *FRAME FORMAT*: il formato del messaggio, ovvero se questo è "STANDARD" oppure "EXTENDED";
- *DLC*: la lunghezza in Byte del messaggio;
- *TX NODE*: nodo della rete responsabile di inviare il messaggio sulla rete.

	Name	ID HEX	Frame Format	DLC	TX Node
1	MsgELeanKWP		Standard	8	E_LEAN
2	Msg7		Standard	8	TESTER
3	Msg4		Standard	8	TESTER
4	Msg2		Standard	8	E_LEAN
5	Msg2		Standard	8	E_LEAN
6	Msg2		Standard	8	E_LEAN
7	Msg2		Standard	8	E_LEAN
8	ABS_info		Standard	8	ABS
9	ABS_input		Standard	8	ECU
10	Dashboard_sta...		Standard	2	DASHBOARD
11	ECU_info		Standard	8	ECU
12	ECU_fuel		Standard	1	ECU

Figura 15: Struttura del file ".dbc"

In figura 16 si vede come ogni segnale è a sua volta caratterizzato da una sequenza di parametri:

- **BYTEORDER**: definisce se il messaggio è ordinato secondo il sistema “*little endian*” chiamato anche Intel, oppure “*big endian*” detto Motorola;
- **BITPOS**: fondamentale per identificare il bit di posizione da cui comincia ogni segnale all'interno del messaggio;
- **LENGTH**: definisce la lunghezza in bit di ogni segnale. Viene definito in base al valore massimo e minimo raggiunto dal segnale durante il normale utilizzo del sistema.
- **FACTOR & OFFSET**: definiscono rispettivamente un fattore di moltiplicazione e un offset da aggiungere al segnale per formattarlo e ottenere il valore corretto come output;
- **VALUE**: questo campo è forse quello più importante quando si va a leggere il file “.dbc”, in quanto contiene i diversi valori che il sistema potrebbe assumere durante il funzionamento del veicolo.

	Name	Type	Byteorder	Mode	Bitpos	Length	Factor	Offset	inimu	Maximum	Unit	Comment	Values
1	WheelSpeedFront	Unsigned	Motorola	Signal	8	16	0.05625	0	0	360 km/h		Front VehSpeed	
2	WheelSpeedFrontQf	Unsigned	Motorola	Signal	32	1	1	0	0	1 Flag		Front VehSpeed...	Valid=0, Not Valid=1
3	WheelSpeedRear	Unsigned	Motorola	Signal	24	16	0.05625	0	0	360 km/h		Rear VehSpeed	
4	WheelSpeedRearQf	Unsigned	Motorola	Signal	34	1	1	0	0	1 Flag		Rear VehSpeed ...	Valid=0, Not Valid=1
5	ABSWarningLamp	Unsigned	Motorola	Signal	38	2	1	0	0	3 status		Lamp Off=0, Lamp ...	
6	CaliperPressureFrontQf	Unsigned	Motorola	Signal	48	1	1	0	0	1 Flag		Pressure of Fro...	Valid=0, Not Valid=1
7	CaliperPressureFront	Unsigned	Motorola	Signal	40	8	1	0	0	254 bar		Pressure of Fro...	

Figura 16: segnali presenti all'interno di un messaggio CAN

Il file “.dbc” oltre a definire tutti i messaggi che circolano sulla rete CAN, è necessario anche per il passaggio successivo: testare e verificare la correttezza dei messaggi. È fondamentale che, per la messa in produzione del veicolo, tutti i messaggi arrivino nell'ordine corretto e nei tempi previsti, evitando così eventuali problemi e incongruenze durante il funzionamento.

A tale scopo è utile l'uso di strumenti di logging, come quelli forniti dall'azienda Kvaser, che è leader nella produzione di hardware e software per lo studio e la validazione dei sistemi CAN-BUS nel settore automotive.

Collegando uno di questi dispositivi alla rete CAN del veicolo e caricando al suo interno il file “.dbc”, esso è capace di intercettare e decodificare tutti i messaggi in maniera autonoma, memorizzando il traffico dati sulla rete per analisi e studi successivi.

Un altro strumento disponibile è il pacchetto Matlab fornito dall'Università di Padova, che include il modulo “Vehicle Network Toolbox”, il quale consente di visualizzare e analizzare, in tempo reale, i dati presenti sulla rete CAN del veicolo. Anche questo tool, caricando il file “.dbc”, permette di riconoscere i valori dei singoli messaggi per una verifica preliminare dei segnali e, anche se non consente di registrare e conservare i dati, può essere utile per una prima analisi della rete.

Durante lo sviluppo del progetto, si è resa necessaria un'analisi relativa ai tempi di avvio delle centraline connesse alla rete su richiesta dal partner fornitore della centralina ABS e CORNERING ABS.

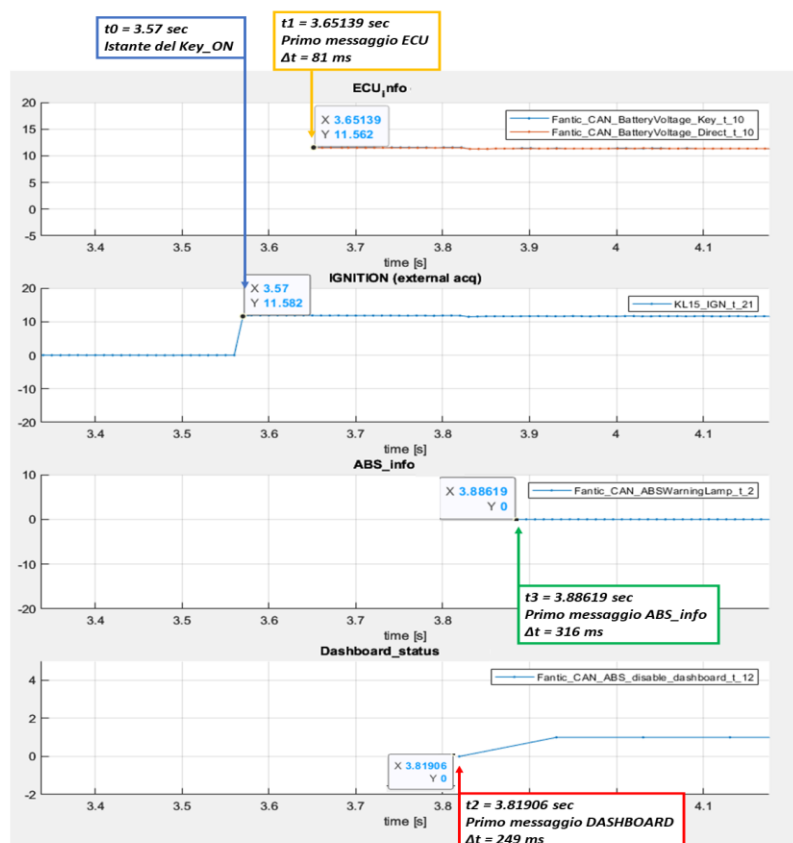
Tra le specifiche di progettazione, infatti, il fornitore prevede la condizione necessaria che al massimo dopo 1 secondo dal proprio avvio, la centralina ABS debba essere in grado di leggere sulla rete i segnali di ROLL e PITCH per abilitare la funzione di CORNERING ABS e operare a pieno regime. In caso contrario, il protocollo disattiva automaticamente il sistema di ABS CORNERING, mantenendo però attivo l'ABS standard, una logica progettata per ragioni di sicurezza al fine di evitare situazioni pericolose in cui il sistema di ABS in curva rimanga attivo ma, ricevendo dati errati dall'IMU, infici il corretto funzionamento del veicolo in movimento. Tramite un Logger GL1010 connesso alla rete CAN, sono state realizzate le acquisizioni rappresentate nei grafici sotto.

In particolare, utilizzando Matlab, sono stati analizzati i primi 3 secondi dopo aver girato la chiave generale del veicolo, cioè dopo aver dato tensione a tutto l'impianto elettrico della moto, alimentando tutte le centraline.

Prendendo $t_0 = 3.57 \text{ sec}$, ovvero l'istante in cui "Key_ON" in blu passa da 0 a 12 V, come inizio del flusso dati sulla rete CAN-BUS, e basandosi sul momento in cui ogni centralina invia il primo messaggio come istante di avvio della stessa, risultano i seguenti tempi:

- $t_1 = 3.65139 \text{ s}$ primo messaggio della ECU;
- $t_2 = 3.81906 \text{ s}$ primo messaggio della DASHBOARD;
- $t_3 = 3.88619 \text{ s}$ primo messaggio della Centralina ABS;
- $t_4 = 6.21428 \text{ s}$ primo messaggio della IMU;

Questi dati possono essere visualizzati nella fig.17, sotto riportata.



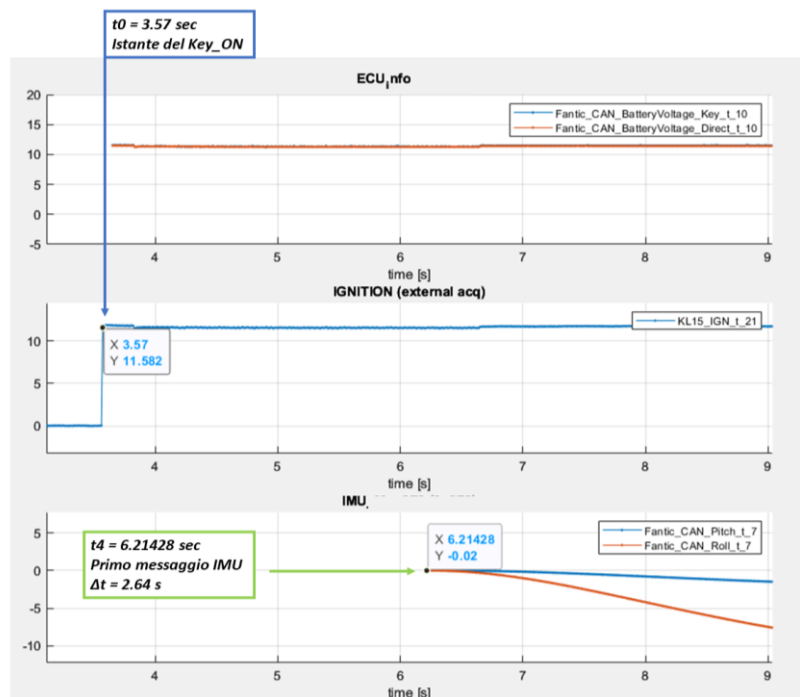


Figura 17: Acquisizione dei messaggi sulla rete CAN-BUS

Facendo ora la differenza tra il tempo di avvio della IMU e della centralina ABS, si ottiene un $\Delta t = t_4 - t_3 = 6.21428 - 3.88619 = 2.32809 \text{ s}$.

Si deduce facilmente una criticità: $2.32809 \text{ s} > 1 \text{ s}$, quindi la condizione di funzionamento richiesta per la centralina ABS non è rispettata e diventa necessario modificare il codice dell'IMU per risolvere questo problema.

Nella fig.18, sono state riassunte in modo schematico le varie tempistiche per rendere più immediato quanto rappresentato nei grafici precedenti.

Come si può notare l'analisi dei segnali è stata fondamentale per poter comprendere questa specifica criticità, poterla risolvere e poter poi procedere con il progetto. Questo è solo un esempio degli innumerevoli casi di studio che ci si trova ad effettuare durante la progettazione e la validazione di un sistema complesso che prevede la comunicazione tra numerose centraline elettroniche.

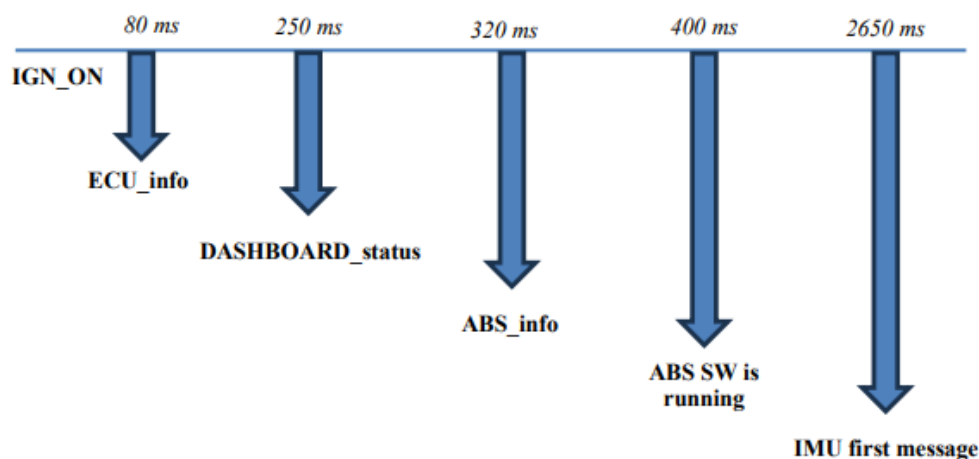


Figura 18: Schema riassuntivo tempistiche avvio centraline

2.3 - SIMULAZIONE DEI NODI DI RETE

Nel capitolo precedente si è visto come si possa analizzare il funzionamento di una rete CAN-BUS tramite l'acquisizione dei segnali trasmessi dalle varie centraline collegate ad essa. Il metodo prevede che si debbano avere a disposizione almeno le versioni quasi definitive di tutte le unità elettroniche che compongono il sistema e questo, quando si lavora con diversi partner esterni, causa un considerevole allungamento dei tempi di lavoro.

Diventa quindi fondamentale avere una modalità per effettuare le verifiche preliminari dei vari messaggi prima di possedere fisicamente le centraline. A tale scopo, in ambito automotive, sono disponibili numerosi software che, collegati alla rete CAN del veicolo, consentono di simulare condizioni specifiche di fault o funzionamento di uno o più nodi della rete. In particolare, si presta a tale utilizzo il software "X-Analyser 3", prodotto dall'azienda inglese "Warwick Control Technologies", concepito per l'analisi e il debug delle reti CAN nei veicoli. Attraverso

l'utilizzo di un'interfaccia dedicata, come per esempio il Leaf SemiPro HS della Kavser, il software permette di visualizzare graficamente i segnali circolanti sulla rete CAN.

L'altra funzione fondamentale di questo tool, quella di poter generare e inviare specifici messaggi sulla rete, è stata utilizzata per ricreare virtualmente la rete in modo da simulare quella fisica effettivamente installata sul veicolo.

Quest'ultima funzione, oltre a permettere di simulare e risolvere eventuali fault della rete, riveste un'importanza significativa durante la fase di prototipazione. Qualora si voglia implementare una nuova funzione, per esempio una nuova interfaccia grafica sulla dashboard del veicolo, si potrebbe testare come quest'ultima reagisca agli stimoli dei vari segnali senza avere l'intera rete ma solo collegando la dashboard al software e inviando i segnali.

Guardando al futuro, sviluppando un sistema di testing interattivo e un'interfaccia dedicata, si potrebbe testare l'intera rete senza la necessità di avere tutte le unità fisicamente collegate.

Ad esempio, per testare il nodo *A* della rete, sarebbe sufficiente simulare la parte del “.dbc” relativa a quel nodo con il software "X-Analyser 3" e scegliere i valori da assegnare ai segnali per poter osservare il comportamento degli altri nodi. Il possibile sviluppo potrebbe concentrarsi sull'implementazione di un'interfaccia dedicata per variare i parametri dei nodi e inviare inoltre i dati in tempo reale sulla rete, durante il funzionamento del veicolo, al fine di ottenere un feedback diretto dalle centraline coinvolte e facilitare il debug e la validazione dell'intero sistema, anche a fronte di tempi di consegna delle centraline molto lunghi da parte dei fornitori.

Interactive Generator

File Edit Settings About

CAN Messages Log

Double click on the message cell to select a message from the CAN database.

Message	ID type	ID (hex)	Frame	Pri	PGN (hex)	Src Adr (hex)	Channel	Dlc	Data (hex)								Period Time [ms]	Period Enabled	Send msg
									0	1	2	3	4	5	6	7			
Speed_Water_Referenced...	Ext...	9f503fe	Sta...	2	1f503	fe	Chnl1	7	0	c8	0	0	0	0	0	0	100	<input checked="" type="checkbox"/>	send

Copy selected Paste before Insert multiple messages Change Period Enabled Transmit selected Start Scheduler Delete all

SB.L	Signal Name	Raw Value (hex)	Raw Value Step (hex)	Physical Value	Physical Value Step	Physical Value Range	Units	irpolati:nablec	Interpolation
7,8	Sequence_ID12	0	2	0.000	2.000	0.00 -> 255.00	bit	<input type="checkbox"/>	
15,16	Speed_Water_Referenced	c8	28f	2.000	6.550	0.00 -> 655.35	m/s	<input type="checkbox"/>	
31,16	Speed_Ground_Referenced	0	28f	0.000	6.550	0.00 -> 655.35	m/s	<input type="checkbox"/>	
47,8	Speed_Water_Referenced_Type	0	2	0.000	2.000	0.00 -> 255.00		<input type="checkbox"/>	
55,4	Speed_Direction	0	1	0.000	1.000	0.00 -> 15.00		<input type="checkbox"/>	

Number of messages: 1 Number of signals: 5

Figura 19: interfaccia del software "X-Analyser 3"



Figura 20: Kvaser Leaf SemiPro HS

Capitolo 3: IMPLEMENTAZIONI FUTURE

Le tecnologie trattate in questa tesi sono state oggetto di un progetto volto ad implementare un sistema avanzato di aiuto alla guida su un motociclo di media cilindrata. Il loro potenziale è, tuttavia, molto più ampio in quanto nella maggior parte dei veicoli odierni l'elettronica di bordo gestisce molteplici parametri:

- *freni*: tramite la centralina ABS è possibile regolare la pressione sull'impianto frenante;
- *apertura della farfalla*: tramite l'installazione di un acceleratore elettronico "ride by wire" (non presente nel veicolo oggetto di questo progetto) è possibile modulare il comando dell'acceleratore;
- *dinamica veicolo*: attraverso la IMU è possibile conoscere l'esatta posizione dinamica del veicolo durante il movimento.

Risulta evidente come, modulando questi sistemi in modo opportuno, sia possibile gestire completamente il comportamento del veicolo e vi sia anche l'opportunità di implementare nuove funzioni e strategie.

Alcune novità in questo senso sono già presenti sul mercato:

- *TCS* (traction control system): controllo di trazione che, tramite un algoritmo, modula la potenza erogata dal motore per evitare la perdita di aderenza in fase di accelerazione e permettere un'ottima tenuta di strada;
- *ANTI-WHEELIE*: implementato soprattutto su moto di grossa cilindrata, permette di gestire la potenza erogata dal motore per evitare che, in fase di accelerazione, la ruota davanti si stacchi da terra a causa dell'eccessiva coppia motrice, migliorando la sicurezza.

Altri sistemi ancora più avanzati, provenienti dall'ingegneria automobilistica, vengono utilizzati anche sui motocicli per migliorare la sicurezza durante la guida in particolare riguardo gli *ADAS* (*advanced driver assistance systems*)⁵.

Recentemente su alcuni motocicli, top di gamma, sono state introdotte tecnologie innovative comunemente utilizzate sulle auto:

⁵ [Advanced driver assistance systems \(ADAS\) design resources | TI.com](#)

- *CRUISE CONTROL*: durante le lunghe percorrenze permette di impostare una velocità costante che viene mantenuta dall'elettronica di bordo, riducendo così l'affaticamento del guidatore;
- *BLIND SPOT DETECTION* (rilevamento angolo cieco): attraverso l'installazione di un ulteriore dispositivo, il radar, consente di aggiungere la funzione di rivelazione del sopraggiungimento di un altro veicolo nell'angolo cieco e lo segnala al guidatore, aumentando così la sicurezza durante la marcia.

In futuro, con uno sviluppo più approfondito, si potranno implementare i sistemi sopra citati ed eventuali altri anche sul veicolo di questa trattazione, utilizzando le tecnologie installate.

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi sono stati presentati alcuni sistemi tecnologici innovativi che ho avuto modo di testare nel corso di vari progetti promossi dall'Università di Padova e durante molteplici esperienze lavorative.

L'intento principale dello studio è stato quello di effettuare un'analisi delle diverse tecnologie a disposizione, al fine di creare un sistema atto a migliorare la sicurezza e l'affidabilità durante la guida di un veicolo a due ruote. Dopo aver effettuato l'analisi delle tecnologie disponibili, è stata studiata la possibile implementazione attraverso prove empiriche e un'accurata analisi dei dati rilevati.

A conclusione di questo lavoro, possiamo affermare che, implementando e modulando in modo adeguato i sistemi tecnologici, è possibile intervenire in modo importante nel comportamento del veicolo per garantirne maggior stabilità.

È ipotizzabile inoltre che, visti i rapidi progressi in campo elettronico e le costanti innovazioni tecnologiche, nel settore automotive vi saranno continue implementazioni future atte a migliorare, in misura sempre maggiore, le prestazioni e la sicurezza dei veicoli.

Per comprendere ciò è sufficiente lanciare uno sguardo alle proposte futuribili delle varie case di produzione in campo automobilistico e motociclistico; aziende che, avvalendosi anche di collaborazioni universitarie, dispongono di materiali e/o supporti tecnologici innovativi.

Evoluzione tecnologica in continuo divenire, grazie anche alle continue ricerche in campo universitario: doveroso perciò è anche guardare al passato, in particolare alla nostra Università patavina, e considerare il prezioso contributo apportato da Professori-Ingegneri che hanno collaborato con le grandi industrie italiane dell'automotive.

A tal riguardo cito, in particolar modo, il Prof. Vittore Cossalter, recentemente scomparso e fondatore del progetto "Quarto di Litro" dell'Università di Padova, egli ha contribuito alle innovazioni dell'ingegneria meccanica, applicata all'ambito motociclistico, segnando un punto di svolta nel settore.

BIBLIOGRAFIA

- Buso, S. (s.d.). Lezione 8.1- Comunicazione Seriale.
- Cossalter, V. (s.d.). *Motorcycle Dynamics*.
- N. Blalock , T., Jaeger , R., & Blalock, B. (s.d.). *Microelettronica*.
- Pacejka, H. B. (2002). *Tire and Vehicle Dynamics*.
- Scattolini , R., Bolzen, P., & Schiavoni, N. (2015). *Fondamenti di Controlli Automatici*.
- Tran, L. (Giugno 2017). *Data Fusion with 9 Degrees of Freedom Inertial Measurement Unit To Determine Object's Orientation*. California Polytechnic State University, Electrical Engineering Department, San Luis Obispo (CA).

SITOGRAFIA

- ABS (Sistema anti bloccaggio): https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_anti_bloccaggio
- The Kalman Filter:
<https://web.mit.edu/kirtley/kirtley/binlustuff/literature/control/Kalman%20filter.pdf>
- Solutions for MEMS sensor fusion:
https://eu.mouser.com/applications/sensor_solutions_mems/
- CAN_E, Learning Module CAN:
<https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=333>
- Structure of CAN Messages:
<https://www.caneasy.de/caneasyhelp/botschaftsaufbau.htm>
- Road vehicles — Controller area network (CAN) - Part 1: Data link layer and physical signalling: <https://www.iso.org/standard/63648.html>
- Advanced driver assistance systems (ADAS) design resources:
https://www.ti.com/applications/automotive/adas/overview.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=ti-null-null-58700008352794317_dynamicapplications_automotive_adas-cpc-pp-google-eu_int&utm_term=&ds_k=DYNAMIC+SEARCH+ADS&DCM=yes&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIIsLXI_rrRhAMV7U5BAh359wx0EAAYASAAEgJe3fD_BwE&gclsrc=aw.ds