

**TRADUTTORE:** Microwide (microwide@bigfoot.com)  
**NOTE:** testo eventualmente delimitato da "££": da controllare a livello di redazione.  
**BATTUTE:** 023.015  
**STATUS:** verificato.  
\*\*\*\*\*

Sistemi di guida Automatica

# Linux alla guida di un'automobile all'Università di Parma.

## Il progetto ARGO

L'obiettivo del progetto ARGO è quello di sviluppare sistemi guida e di sicurezza attiva per i veicoli del futuro. Il sistema automatico di guida prevede la capacità completa di guidare un veicolo, senza alcuna necessità di un intervento umano (un vero pilota automatico). Questi sistemi devono essere in grado di capire le condizioni del traffico e, nel caso di pericolo improvviso, avvertire il guidatore o addirittura assumere il controllo del veicolo opponendosi alla volontà del guidatore.

ARGO (vedere la figura 1), un prototipo sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Parma, è stato presentato al pubblico e alla comunità scientifica nel mese di giugno del 1998, viaggiando autonomamente per più di 2.000 chilometri sulla rete autostradale italiana. Tutte le operazioni di acquisizione dati in tempo reale e di elaborazione sono eseguite su un singolo PC Pentium MMX con sistema operativo Linux.

## Come è nato il progetto

L'uso di veicoli pilotati automaticamente permette di risolvere molti problemi (e non soltanto quelli relativi al traffico e alla sicurezza): oltre ai vantaggi immediati legati alla maggiore sicurezza e alla riduzione degli incidenti stradali (si pensi al numero di vite salvate), è possibile ridurre le distanze tra veicoli in movimento e quindi aumentare la capacità di trasporto delle strade.

Una regolazione più intelligente della velocità di ciascun veicolo può permettere di ottenere anche un'apprezzabile riduzione del consumo di carburante.

In altre parole, un pilota automatico per veicoli permetterebbe di utilizzare in modo ottimale le infrastrutture di trasporto. Ridurrebbe i rischi, il tempo necessario per gli spostamenti e il consumo energetico.

I veicoli commerciali e industriali che si spostano ripetutamente lungo percorsi fissi potranno inoltre trarre vantaggio da una migliore conoscenza della strada e richiederanno meno personale per gestire gli spostamenti.

Lo sviluppo di veicoli automatici prevede sistemi che diano risposte in tempo reale (più velocemente di quanto avvenga in altre applicazioni) e quindi necessitano di algoritmi intelligenti e di computer potenti.

Inoltre, se si desidera realizzare un prodotto commercialmente valido, è necessario mantenere il costo del sistema entro limiti accettabili dal mercato.

La tecnologia sottostante, come quella relativa a HUD (Head-Up Display – visualizzatori virtuali a livello degli occhi), telecamere a infrarossi, radar e sonar, è stata derivata da costose applicazioni militari.

Oggi, grazie al diffondersi di applicazioni civili e al progresso tecnologico nelle tecniche di produzione, si possono reperire sensori, sistemi di elaborazione, attuatori ed altri dispositivi di output a prezzi accessibili.

Questo progetto prova come sia possibile realizzare un sistema funzionante con costi molto contenuti (almeno per quello che riguarda i sensori e l'elaborazione dei dati).

Questo articolo descrive l'architettura utilizzata, basata su un "modesto" computer Pentium MMX a 200 MHz con sistema operativo Linux. Faremo una analisi risultati raggiunto e dei problemi che si sono manifestati durante lo sviluppo dell'intero progetto.

Il progetto è stato realizzato in collaborazione con il CNR, mentre il tour Millemiglia in Automatico è stato sponsorizzato da TIM, che ha fornito i sistemi GSM e la connettività cellulare usata nell'intero viaggio.

## Architettura di sistema

Il sistema di elaborazione installato su ARGO (indicato nelle figure 2 e 3) si basa su un singolo processore Pentium MMX (a 200 MHz, con 32 Mbyte di RAM).

La configurazione include alcune schede aggiuntive dedicate alle operazioni di acquisizione delle immagini, visualizzazione, avvertimenti acustici e I/O dei dati da dispositivi specifici.

**GOLD** (Generic Obstacle and Lane Detection), il software che pilota il veicolo ARGO, è stato progettato per essere il più portatile possibile; in conseguenza, risulta indipendente dalle specifiche librerie/distribuzioni Linux e può essere compilato con libc o glibc.

Grazie all'elevata stabilità che caratterizza il kernel Linux utilizzato (2.0.18), la distribuzione attualmente usata su ARGO è ancora una Debian 1.2.

Ecco una descrizione delle librerie software/adattatori di ARGO e del loro supporto per Linux.

### **Dispositivi di acquisizione.**

ARGO si basa su una serie di elaborazioni basate sulla visione della strada fatta tramite telecamere.

Quindi il dispositivo di acquisizione è il componente hardware più importante in assoluto.

GOLD necessita di una scheda di acquisizione che sia in grado di acquisire simultaneamente immagini a toni di grigio da due telecamere.

Grazie alla disponibilità di mailing list specifiche dedicate a Linux e Vision

(<http://atlantek.com.au/USERS/wes/linux/frame.html>) ci siamo resi conto che, tra l'hardware supportato da Linux, soltanto la scheda Matrox Meteor RGB offre queste funzionalità.

Il modulo Matrox Meteor standard non è compatibile con video4linux; ciò nonostante, la disponibilità di numerosi esempi e del relativo codice sorgente ha permesso una rapida implementazione delle routine necessarie all'utilizzo di questa scheda.

### **I/O dei dati.**

Mentre la scheda per l'acquisizione delle immagini rappresenta il dispositivo principale di input, la guida automatica richiede anche la presenza di un dispositivo di output per manovrare lo sterzo.

Nel PC di ARGO è stata installata una scheda di I/O National Instruments LabPC+ ISA, che mette a disposizione una serie di porte analogiche, digitali e di temporizzazione.

Questo dispositivo è stato usato per pilotare l'attuatore dello sterzo (un motore passo-passo), per misurare la velocità del veicolo (tramite un tachimetro a effetto Hall) e per gestire i comandi impartiti dall'utente attraverso il pannello di controllo mostrato nella figura 2.

L'utilizzo del dispositivo LabPC+ è piuttosto semplice, dal momento che il modulo Linux mette a disposizione un dispositivo e semplici funzioni di ioctl per ciascuna porta di I/O.

### **Segnalazioni acustiche**

Il sistema può utilizzare segnali acustici per avvisare il guidatore. È stata sviluppata una semplice interfaccia realizzata con una scheda audio stereo standard, usando il driver OSS fornito con il kernel di Linux.

### **Visualizzazione delle immagini**

Il risultato delle elaborazioni viene fornito ai passeggeri tramite un monitor da sei pollici installato sul cruscotto del veicolo ARGO (vedere la figura 4).

Il software permette di visualizzare anche i risultati intermedi e di inserire dei comandi di debug.

A questo fine, sono state sviluppate due interfacce: una di tipo VGA e l'altra basata su X11.

Nel primo caso è stata usata la libreria SVGA per visualizzare i risultati e la libreria ncurses per l'input dei comandi dell'utente. Nel secondo caso si sono utilizzate le *libxform* (vedere la figura 5).

### **Strumenti di programmazione**

Si sono sfruttate le capacità MMX del processore Pentium al fine di aumentare la velocità di elaborazione. Alcune parti del codice GOLD sono state riscritte in linguaggio assembly MMX e successivamente compilate con il NASM (Netwide Assembler), un assembler generico x86 che supporta gli opcode dei più recenti processori comprese le estensioni MMX.

### **Collegamento a Internet**

Durante le prove e le dimostrazioni del veicolo, immagini dell'abitacolo venivano trasmesse su Internet in diretta.

Per compiere questa operazione, è stato necessario stabilire un collegamento con Internet.

Questo tipo di collegamento implica l'uso di strumenti per la comunicazione mobile, come modem satellitari o GSM, ed è caratterizzato dalle seguenti limitazioni:

- Larghezza di banda limitata per la trasmissione (di solito, poco più di 1 kbps).

- Grandi variazioni nella larghezza di banda disponibile durante gli spostamenti.

- Frequenti perdite di segnale.

Per migliorare il throughput del collegamento, sono stati usati simultaneamente due modem GSM.

Infatti, il kernel Linux offre un'estensione specifica che permette di fare in modo che più collegamenti seriali si comportino come una singola linea più veloce: l'EQL (Equalize Load).

Il principio è quello di suddividere il traffico su più linee seriali; inoltre, EQL consente collegamenti caratterizzati da throughput differenti e consente protocolli differenti sulle linee utilizzate.

Per non sovraccaricare eccessivamente il sistema principale di elaborazione, sul veicolo è stato installato un altro sistema Linux (un portatile Compaq) equipaggiato con una telecamera QuickCam Color per porta parallela (supportata da Linux) e con due modem GSM in grado di funzionare a 9.600 kbps.

Un'applicazione specifica permette di catturare le immagini dalla QuickCam, convertirle in formato JPEG e inviarle al server Web del progetto all'indirizzo <http://millemiglia.ce.unipr.it> (una terza macchina con sistema operativo Linux).

Alle immagini ricevute dal server viene sovrapposta la data e l'ora e sono rese disponibili su Internet.

Un semplice script in background consente di ripristinare le due connessioni nel caso in cui si interrompano per qualsiasi motivo (gallerie, zone in cui manca il segnale GSM, ecc).

### **Prova su strada**

Per collaudare efficacemente il veicolo in condizioni di traffico, ambienti stradali e condizioni meteorologiche differenti, dal 1 giugno 1998 al 6 giugno è stato compiuto un viaggio di più di 2.000 chilometri (*MilleMiglia in Automatico*).

Durante questo test, ARGO ha guidato in modalità automatica sulla rete autostradale italiana, viaggiando in zone pianeggianti e regioni collinari, attraversando viadotti e gallerie.

La rete stradale italiana è particolarmente adatta a questo genere di test, perchè caratterizzata da scenari stradali estremamente differenti, condizioni variabili di tempo ed in generale da una notevole densità di traffico.

Sebbene il viaggio si sia svolto su autostrade e strade statali, il sistema si è dimostrato in grado di funzionare anche sulle strade di campagna qualora sia presente la segnaletica.

Durante il viaggio, oltre alle normali attività di acquisizione e di elaborazione dati per la guida automatica, il sistema ha compiuto il logging dei dati più significativi (come velocità, posizione dello sterzo, cambiamenti di corsia, interventi e comandi dell'utente), copiando su disco il proprio stato completo (comprese le immagini) ogni qual volta non veniva individuata in modo affidabile la corsia stradale.

Tutti questi dati sono stati elaborati al termine del viaggio, per calcolare le prestazioni complessive del sistema (come la percentuale di guida automatica) e analizzare le situazioni impreviste.

La possibilità di sottoporre al sistema le stesse immagini, partendo dai dati memorizzati, ha consentito di riprodurre più volte le situazioni in cui era stato rilevato un errore e di studiarne una soluzione.

Al termine del tour, il log del sistema conteneva più di 1.200 Mbyte di dati grezzi; durante l'intero viaggio il sistema ha elaborato circa un milione e mezzo di immagini (ognuna con risoluzione di 768 x 288 pixel), per un totale di circa 330 Gbyte.

Durante il tour, le notizie aggiornate sull'andamento del test e le immagini acquisite dalla telecamera posta nell'abitacolo sono state trasmesse su Internet.

A testimonianza del grande interesse manifestato dalla comunità scientifica, dai mass media e dal pubblico, il sito Web <http://millemiglia.ce.unipr.it> è stato visitato più di 350.000 volte durante il tour; sono stati trasferiti più di 3.000 Mbyte di informazioni, con un picco di 16.000 visite all'ora durante il primo giorno della dimostrazione.

### **Analisi delle prestazioni**

Il problema principale osservato durante il viaggio è quello relativo all'acquisizione delle immagini.

Uno degli scopi del progetto era di sviluppare un sistema caratterizzato da un costo sufficientemente contenuto da permetterne la facile integrazione nei normali veicoli; di conseguenza, un chiaro punto di partenza era costituito dall'uso di dispositivi di acquisizione a basso costo.

In particolare, sono state installate delle telecamere dello stesso tipo di quelle usate per i videocitofoni (costo medio di circa 200000 lire).

Questi prodotti sono caratterizzati da una sensibilità elevata anche in condizioni di poca luce (di notte), ma rapido cambiamento dell'illuminazione della scena (per esempio, all'entrata o all'uscita da una galleria) provoca un degrado nella qualità dell'immagine (questi dispositivi sono infatti progettati per applicazioni caratterizzate da illuminazione costante, come nel caso dei videocitofoni).

Di conseguenza, per esempio, all'uscita dalle gallerie per un certo periodo le immagini acquisite risultano completamente saturate e quindi inutilizzabili.

Di contro, il sistema di elaborazione si è dimostrato appropriato per la guida automatica del veicolo. L'attuale tecnologia mette in oltre a disposizione sistemi di elaborazione con caratteristiche molto più potenti di quello che è stato installato su ARGO.

Il sistema GOLD è in grado di elaborare fino a 25 immagini stereo al secondo e di fornire ogni 40 millisecondi i segnali di controllo per lo sterzo automatico (che equivalgono a un aggiustamento della posizione dello sterzo per ogni metro percorso quando il veicolo viaggia alla velocità di 100 chilometri all'ora).

Ovviamente, la velocità di elaborazione influenza la velocità massima del veicolo che può essere considerata sicura: più elevata è la velocità di elaborazione, maggiore sarà anche la velocità massima sicura del veicolo.

Le diverse condizioni del tempo in particolari situazioni di illuminazione hanno dimostrato la validità dell'approccio seguito e degli algoritmi per l'elaborazione delle immagini.

Il sistema è sempre stato in grado di estrarre le informazioni per la navigazione, anche in condizioni di luce particolarmente critiche, con il sole davanti alle telecamere, alto o basso sull'orizzonte, di sera o durante il giorno, con un contrasto elevato o basso.

Di notte, il comportamento del sistema risulta migliorato dall'assenza di riflessione della luce solare e di ombre, mentre l'area di interesse rimane costantemente illuminata dai fari del veicolo.

Infine, il sistema si è dimostrato idoneo a funzionare in varie condizioni ambientali ed in particolare a temperature elevate come quelle riscontrate nell'abitacolo durante il tour.

In alcuni casi, la temperatura esterna ha toccato i 35 gradi centigradi e il sistema ha continuato a funzionare in modo affidabile anche senza aria condizionata.

### **Analisi statistica del tour**

L'analisi dei dati raccolti durante il tour ha permesso di analizzare statisticamente le prestazioni del sistema (vedere la tabella 1).

In particolare, per ogni fase del viaggio sono state calcolate le velocità media e massima del veicolo durante la guida automatica.

La velocità media è stata notevolmente influenzata dalle condizioni di traffico intenso (in particolare sulle circonvallazioni di Torino, Milano e Roma) e dalla presenza di caselli, svincoli e lavori stradali.

La percentuale di guida automatica e la distanza massima sono caratterizzate da valori elevati, malgrado la presenza di molte gallerie (soprattutto nel percorso appenninico da Ancona a Roma e da Firenze a Bologna) e da parecchi restringimenti della carreggiata caratterizzati dall'assenza di strisce sull'asfalto o dalla loro notevole consunzione che le rendeva poco visibili (da Ferrara ad Ancona e da Ancona a Roma), oppure dalla completa mancanza di strisce di delimitazione della corsia (da Firenze a Bologna).

È di fondamentale importanza notare che alcune fasi del test hanno previsto il passaggio attraverso caselli autostradali e lungo circonvallazioni caratterizzate da traffico intenso e da code frequenti, tutti casi in cui il sistema veniva disabilitato.

### **Conclusioni**

Per l'intero progetto, la scelta di una piattaforma basata su processori Intel con Linux si è dimostrata estremamente affidabile; nel corso degli ultimi due anni, il numero di errori dovuti a questi componenti è stato nullo.

In origine, la ragione principale che ha portato alla scelta del sistema operativo Linux (invece di un sistema operativo real-time o di un sistema operativo standard) è stata la disponibilità di strumenti aggiornati per sviluppo e debugging, driver e FAQ (Frequently Asked Questions) per dispositivi hardware specifici, oltre alla possibilità di interagire su Internet con un gran numero di ricercatori di tutto il mondo per trovare un aiuto relativo alla risoluzione dei problemi.

Le direzioni principali delle future ricerche (Progetto ARGO, Fase due) sono relative allo sviluppo di un nuovo veicolo in grado di integrare la capacità di seguire la strada con le funzionalità di "platooning" (ovvero la capacità di seguire automaticamente un altro veicolo pilotato dall'uomo). Nella prossima fase, il motore di elaborazione sarà costituito da un'architettura basata su processore Intel con prestazioni più elevate, anche questa volta pilotata da Linux.

### **Bibliografia**

1. Alberto Broggi, Massimo Bertozzi, Alessandra Fascioli, and Gianni Conte, Automatic Vehicle Guidance: the Experience of the ARGO Vehicle. World Scientific, Aprile 1999, ISBN 981-02-3720-0.

### **Gli autori**

Massimo Bertozzi ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Tecnologie dell'Informazione. È un appassionato di Linux fino dal kernel 1.0.9.

Dal 1994 lavora presso l'Università di Parma in ricerche sulla visione delle macchine e su cluster di computer Linux. Se non sta ricompilando strani programmi, leggendo news, navigando su Internet o giocando a Quake può essere contattato a bertozzi@ce.unipr.it.

Alberto Broggi è sposato con Simona, che gentilmente gli consente di lavorare a casa e anche durante la notte su questioni legate alla guida automatica dei veicoli con la visione artificiale.

Nel suo tempo libero, tiene alcuni corsi all'Università di Pavia e all'Università di Parma e non ha ancora imparato a girarsi quando qualcuno lo chiama Professore.  
Anche se è coinvolto nell'organizzazione di molti eventi scientifici internazionali, incontra qualche difficoltà nel trovare una foto per la propria biografia che lo ritragga in cravatta.  
Alberto risponderà certamente a chi lo contatta all'indirizzo di posta elettronica [alberto.broggi@unipv.it](mailto:alberto.broggi@unipv.it).

Alessandra Fascioli si è laureata in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Parma. Attualmente sta terminando il corso di Dottorato di Ricerca in Tecnologie dell'Informazione presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Parma.

Le sue attività di ricerca sulla visione dei computer in tempo reale per la guida automatica dei veicoli e sulle tecniche di elaborazione delle immagini basate sul modello computazionale di Morfologia Matematica producono solitamente i risultati migliori dopo una buona nuotata o un bagno di sole nella piscina dell'Università.  
La farete felice se la contatterete a [fascal@ce.unipr.it](mailto:fascal@ce.unipr.it).

Figura 1. La vettura prototipo ARGO.

Figura 2. Vista interna della vettura ARGO.

- Telecamera di sinistra
- Telecamera di destra
- Motore elettrico
- Pannello di controllo
- Monitor TV
- Pedale di emergenza
- Pulsanti di emergenza

Figura 3. Architettura informatica e dispositivi.

- Telecamera di sinistra
- Telecamera di destra
- Tachimetro
- Pannello di controllo
- Pedale di emergenza
- Attuatore dello sterzo
- Telecamera interna
- Video sincronizzato
- Scheda di acquisizione delle immagini
- Scheda di I/O
- Pannello di Controllo a LED
- PC portatile con Linux 2.0.35
- Internet
- PC Pentium a 200 MHz
- Linux 2.0.18
- Ethernet
- Tastiera
- Antenne GSM
- Scheda VGA
- Scheda audio
- Modem
- Modem
- Server Web del Dipartimento con Linux 2.0.35
- Da VGA a composito
- Canali audio destro e sinistro
- Joystick
- Monitor a colori

Figura 4. Schermata catturata dall'output del monitor sul cruscotto.

Figura 5. Pannello di Controllo basato su X11.

Figura 6. Guida automatica durante il tour Mille miglia in Automatico.

Figura 7. Il tour Mille miglia in Automatico.

Tabella 1. Dati statistici sulle prestazioni del sistema.

- Fase
- Data
- Partenza

Arrivo  
Chilometri  
Velocità media (km/h)  
Velocità massima (km/h)  
Percentuale di guida automatica  
Massima distanza percorsa in automatico (km)

Box di pagina 45 in alto  
Risorse  
[riprendere il testo dall'originale]