



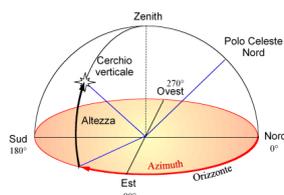
## Studio del sistema Sole –Terra e realizzazione di un robot per l'inseguimento della traiettoria solare.<sup>†</sup>

Antonello Ranieri,<sup>a</sup> Samuel Bernacca,<sup>b</sup> Giovanni Di Maria,<sup>b</sup> Amos Indrio,<sup>b</sup> Cosimo Libutti,<sup>b</sup> Angelo Welby.<sup>b</sup>

Questo lavoro è stato svolto in collaborazione con il liceo classico “G.V. Catullo” per lo studio dei movimenti solari.

L'unione delle discipline meccaniche, elettroniche ed informatiche, in contrapposizione con gli studi classici propri di questo indirizzo scolastico, ha portato questo team alla realizzazione di un prototipo di “inseguitore solare” per la raccolta di energia tramite un pannello fotovoltaico installato su un robot con una movimentazione a due assi che insegue l'eclittica del sole attraverso calcoli matematici eseguiti sulla base alla posizione dell'osservatore sul globo nel tempo.

**Keywords:** LabView, Sistema Sole-Terra, Software, ASL.

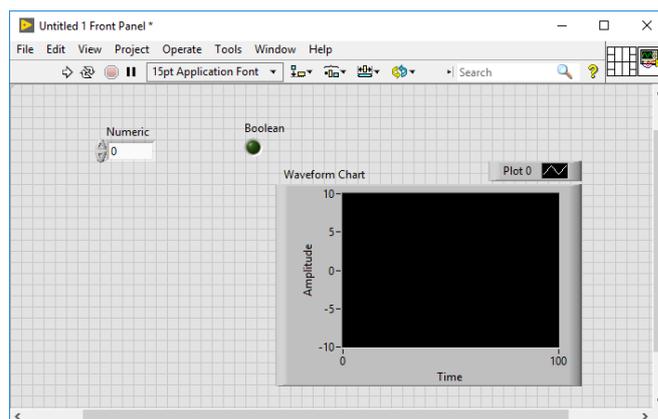


## 1 Introduzione

LabView, abbreviazione di Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, è l'ambiente di sviluppo integrato realizzato dalla National Instrument (NI).<sup>1</sup> Il linguaggio di programmazione usato in LabView si distingue dai linguaggi tradizionali, di tipo testuale, poiché grafico. Per questa ragione viene denominato G-Language (Graphic Language). La definizione di dati, algoritmi e strutture avviene mediante l'utilizzo di icone ed altri oggetti grafici, ognuno dei quali incorpora diverse funzioni. La programmazione LabView si fonda su due pilastri tra loro interconnessi:

- il Front Panel (Fig. 1), nel quale è possibile disegnare l'interfaccia grafica;
- il Block Diagram (Fig. 2) che consente di disegnare la logica di funzionamento di un algoritmo.

Il linguaggio G è costituito da un grafo orientato, disegnato nel Block Diagram, costituito da una serie di funzioni, connesse da fili che trasportano i dati in una direzione precisa, generalmente non reversibile. Un altro aspetto che differenzia LabView dagli altri linguaggi di programmazione è l'ordine di esecuzione dei task (compiti). Nei linguaggi testuali l'ordine di esecuzione generalmente è sequenziale, deciso cioè dall'ordine in cui vengono compilate le righe di codice, in LabView invece, task indipendenti vengono eseguiti contemporaneamente. Nel caso di task sequenziali viene invece seguito il flusso naturale dei dati (Data Flow), ovvero è impossibile utilizzare un dato prima che questo sia disponibile.



**Fig. 1** Il Front Panel, che costituisce l'interfaccia grafica, dove figurano cioè i parametri operativi visibili all'utente come controlli ed indicatori, nel Front Panel l'utente interagisce con il software

Una delle potenzialità di LabView è quella di avere librerie software di notevole estensione dalle quali attingere funzioni che possono avere gradi di complessità variabile, da quella elementare a quella molto complessa, attraverso queste VI (Virtual Instruments) collegate in maniera opportuna si creano funzionalità custom molto complesse.

Le librerie sono suddivise per tipologia di funzione, ad esempio VI per array, VI per strutture base della programmazione, VI per la gestione delle stringhe, fino a VI particolari come la movimentazione dei motori stepper o per interfacciarsi con telecamere di varia natura.

## 2 Definizioni

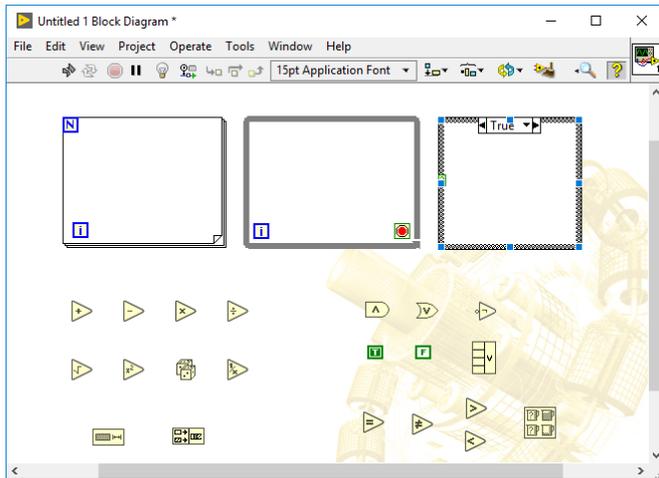
- **Poli celesti:** proiezioni dei poli terrestri rispetto all'equatore celeste. I poli terrestri proiettano lo Zenit del polo nord terrestre e il Nadir del polo sud terrestre, sulla volta celeste.

<sup>a</sup> CNR - Istituto di Cristallografia, Strada Provinciale 35/d, Montelibretti, Italia

<sup>b</sup> Liceo Classico G.V. CATULLO (Classi 4 e 5 BC a.s. 2018-19), Monterotondo, Italia

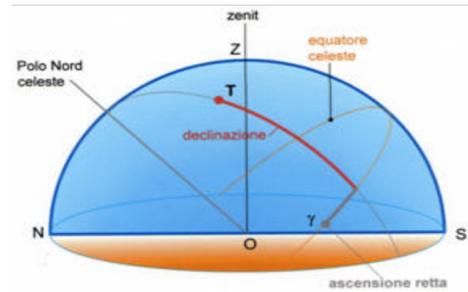
Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

<sup>†</sup> Rapporto tecnico IC-RM 2019/06 protocollato in data xx/xx/2019 n. xxxxxxxx



**Fig. 2** Il Block Diagram, ambiente di programmazione vero e proprio, dove avviene lo sviluppo degli algoritmi alla base del software. In questa sezione vengono posizionati i blocchi logici che vengono tra loro collegati tramite fili.

- **Punto  $\gamma$ :** (Punto equinoziale) detto “punto d’ariete” o “vernale” o “gamma” è il punto dove il sole si trova nel momento in cui si verifica l’equinozio di primavera e coincide con l’intersezione tra la proiezione dell’equatore sulla sfera celeste e l’eclittica solare;
- **Punto  $\omega$ :** (Punto equinoziale) punto che è diametralmente opposto a  $\gamma$ , detto anche “punto della Bilancia” o dell’equinozio d’autunno, intersezione tra equatore celeste e eclittica solare.
- **Equatore celeste:** proiezione dell’equatore terrestre sulla volta celeste, passa per i punti equinoziali;
- **Eclittica:** percorso che apparentemente il sole compie attorno alla terra (il piano su cui giace è inclinato di  $23^\circ$  circa rispetto a quello su cui giace l’equatore celeste), passa per i punti equinoziali ma non per i poli celesti;
- **Coluro equinoziale:** proiezione del meridiano specifico sulla volta celeste passante per i punti equinoziali e per i poli celesti.
- **Equinozio:** giorno nel quale la notte ed il giorno hanno la stessa durata ed avviene quando la declinazione del sole è uguale a zero ovvero quando il sole si trova sul piano dell’equatore celeste.
- **Solstizio:** Punto di estrema inclinazione (Nord o Sud) del sole rispetto al piano equatoriale, coincide la massima illuminazione diurna alternativamente per uno dei due emisferi.
- **Ascensione Retta:** Rappresenta l’angolo che si forma tra il meridiano passante per il punto gamma (punto equinoziale) chiamato “coluro Equinoziale” e il meridiano passante per l’astro.
- **Declinazione:** È un numero che indica l’angolo di incidenza dei raggi solari che colpiscono la superficie terrestre, si misura in gradi Nord e Sud rispetto al piano equatoriale. Più in generale la declinazione viene utilizzata come parametro fondamentale per la determinazione della posizione di un astro insieme all’ascensione retta.



**Fig. 3** Ascensione Retta e Declinazione di un astro(T).

### 3 Cenni di geometria del sistema terra-sole

Il Sole, durante il suo moto apparente annuo, descrive sulla volta celeste una curva immaginaria, definita eclittica. Quest’ultima, interseca in due distinti punti una seconda curva immaginaria: l’equatore celeste, il quale non è altro che la proiezione sulla volta celeste dell’equatore terrestre. Si possono definire due punti distinti chiamati “punti equinoziali” nei quali si incontrano entrambe le curve: il punto “gamma” (detto anche punto “vernale”) e il punto “omega”, che è diametralmente opposto al punto gamma.

La prima di queste due coordinate essenziali è il riferimento fisso nel quale il Sole si trova durante l’equinozio di primavera; il secondo punto fisso (Omega) coincide con l’equinozio di autunno.

Per calcolare la posizione di un astro, come il sole in questo caso, dobbiamo calcolare “l’ascensione retta” e la “declinazione”. Il primo parametro si riferisce allo scostamento angolare che si ha tra il meridiano passante per il punto vernale (o Gamma) chiamato “coluro equinoziale” e il meridiano (o cerchio orario) passante per l’astro, misurato sull’equatore celeste come mostrato nella Fig. 3.

Il secondo valore si riferisce alla “declinazione” ovvero l’angolo che la direzione dei raggi solari forma a mezzogiorno, sul meridiano considerato, con il piano equatoriale.

Il valore della declinazione del sole varia ogni giorno e va da un massimo di  $23^\circ$  e  $27'$ , durante il solstizio d’estate, ad un minimo di  $-23^\circ$  e  $27'$  al solstizio d’inverno, passando per lo zero nei giorni di equinozio.

La declinazione è un parametro necessario per il calcolo dell’altezza del sole a mezzogiorno in un qualsiasi punto geografico terrestre, infatti quest’ultima si calcola secondo la relazione:

$$\text{altezza del sole} = 90^\circ - \text{Latitudine} + \text{Declinazione}$$

La declinazione solare è solo funzione del giorno Giuliano e si può calcolare con la relazione:

$$D = 23.45 \sin(360 \times (284 + n)/365)$$

dove “n” è il giorno dell’anno.

Individuare la Declinazione solare in un giorno dell’anno corrisponde a saper descrivere i rapporti geometrici tra sole e terra nel suo complesso in un determinato giorno.

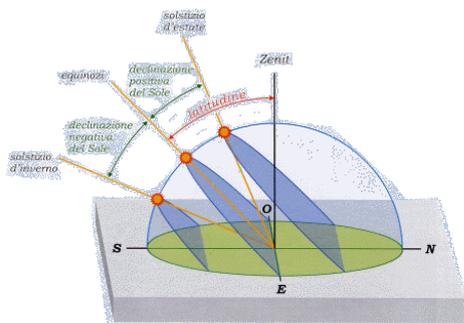


Fig. 4 Declinazione solare e posizione del sole nei solstizi.

In un anno (circa 365,25 giorni) l'ascensione retta del Sole passa da 0 a 360 gradi, con una variazione di circa 1 grado al giorno e di conseguenza 30 gradi al mese.

In Fig. 4 è rappresentato l'emisfero visibile della sfera celeste, per una latitudine di  $42^\circ$  Nord, che corrisponde a quella media della nostra regione. In essa sono riportate le eclittiche descritte dal Sole durante i due Solstizi e i due equinozi.

È facile osservare che la durata del giorno diminuisce notevolmente nel passaggio dal Solstizio estivo a quello invernale come pure diminuisce la massima altezza o elevazione raggiunta dal Sole durante questo transito.

Analogamente i punti in cui il Sole sorge e tramonta tendono sempre più a spostarsi verso Sud; soltanto agli Equinozi i suddetti punti coincidono esattamente con l'Est e l'Ovest.

In Fig. 5 è riportata, quale esempio, la situazione per due diversi osservatori, uno nell'emisfero boreale e l'altro nell'emisfero australe. Nel giorno del Solstizio estivo, a mezzogiorno del 21 giugno, un osservatore sul Tropico del Cancro vede il Sole passare allo zenit, che corrisponde alla declinazione del Sole di  $23^\circ 27' N$ ; nel giorno del Solstizio di Inverno, a mezzogiorno del 21 dicembre, un osservatore sul Tropico del Capricorno vede il Sole al suo zenit, che corrisponde alla declinazione di  $23^\circ 27' S$ . Al di fuori della zona delimitata dai tropici l'inclinazione del Sole non raggiunge mai lo zenit dell'osservatore. È interessante notare che le località che sono situate a Nord del Tropico del Cancro, a mezzogiorno vedono passare il Sole verso Sud, mentre quelle a Sud del Tropico del Capricorno lo vedono passare verso Nord.

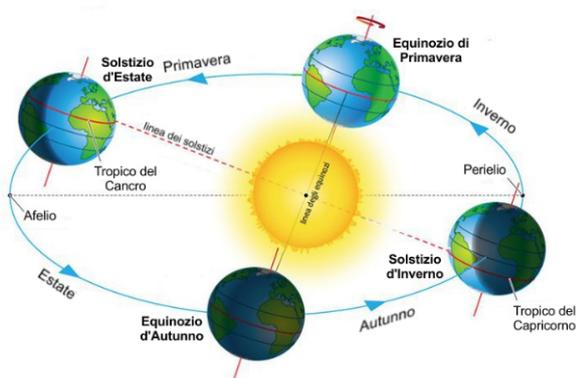


Fig. 5 Posizioni dei solstizi e degli equinozi rappresentati nei due emisferi nel corso dell'anno.

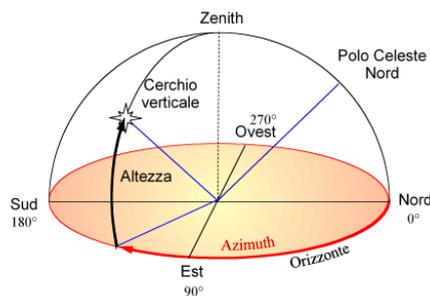


Fig. 6 Coordinate di Azimut ed Elevazione rispetto all'osservatore.

## 4 Algoritmo per il calcolo della posizione del sole

Durante questo percorso di alternanza questo gruppo ha realizzato un software in grado di calcolare con estrema precisione i dati relativi alla posizione del sole rispetto a qualsiasi punto del globo e rispetto a qualsiasi data temporale.

Il procedimento di calcolo è stato verificato utilizzando i più importanti e comuni calcolatori di posizione del sole che notoriamente vengono utilizzati sul web, come ad esempio <https://www.suncalc.org>.

L'algoritmo di calcolo si suddivide in varie parti, necessarie per ottenere i valori di elevazione, ovvero il valore angolare espresso in gradi dell'altezza del sole rispetto all'orizzonte dell'osservatore, e il valore di azimut, ovvero il valore angolare rispetto al nord dell'orizzonte dell'osservatore, che corrisponde al nord terrestre.

Per ottenere questi valori vengono inseriti dall'utente alcuni parametri fondamentali e strettamente necessari per il calcolo, come la posizione dell'osservatore relativa a latitudine e longitudine, il tempo, espresso in: giorni, mese, anno, ore, minuti e secondi, e il fuso orario.

La procedura consiste in una sequenza di calcoli parziali, i cui risultati vengono utilizzati nei passaggi successivi fino ad arrivare al calcolo dei valori finali corrispondenti all'AZIMUT ed all'ELEVAZIONE. I dati ottenuti sono necessari per la movimentazione dei motori del robot permettendo al pannello solare installato di allinearsi perpendicolarmente ed ininterrottamente con il sole. I calcoli vengono effettuati costantemente dal programma che aggiorna le posizioni meccaniche dell'hardware ogni minuto.

La procedura descritta è visibile in Fig. 8 è realizzata tramite il codice LabView e rappresenta il "core" dell'applicazione che governa il robot per il puntamento del sole, ovviamente il software è costituito anche da algoritmi che trasformano le coordinate della posizione del sole, costituite dai valori di Azimut ed Elevazione, in segnali elettrici tramite la scheda di controllo "Arduino", la quale provvede ad inviarli alle schede di controllo dei motori, da queste ultime gestite per il movimento coordinato dei motori. Il software include anche funzioni di controllo per la gestione di "switch" elettromeccanici, utilizzati come feedback per il controllo della posizione degli assi di movimentazione del robot.

## 5 Descrizione dell'interfaccia grafica

L'interfaccia grafica del software realizzato (Fig. 9) è costituita da un pannello principale che indica la posizione corren-



de, le quali li interpretano e generano segnali coerenti per i motori che effettuano il movimento meccanico richiesto.

Nello schema a blocchi in Fig. 7 sono evidenziati tre interruttori di fine corsa, che prevengono problemi meccanici durante il movimento, impedendo danneggiamenti fisici all'apparato; uno di questi viene impiegato per determinare la posizione di partenza, permettendo al software di conoscere costantemente la posizione in cui si trovano i motori; infatti il punto di zero dell'elevazione corrisponde all'azionamento di uno degli interruttori e indica l'orizzonte dell'osservatore, mentre la posizione di zero relativa al motore di Azimut si ottiene utilizzando uno dei restanti due interruttori corrispondente al limite sinistro meccanico di escursione minima. Analogamente il terzo e ultimo interruttore costituisce il limite destro di escursione massima di Azimut.

I motori impiegati sono di tipo "stepper", una tecnologia nella quale i movimenti hanno un'ampiezza fissa in gradi, configurabile dall'utente, permettendo di avere un certo numero di "passi" minimi ogni rivoluzione del motore. Nel nostro caso sono stati impiegati motori con 200 passi ogni grado per il movimento relativo all'elevazione, mentre un motore da 500 passi ogni grado per quello di Azimut.

## 7 Conclusioni

Questo lavoro è stato svolto in collaborazione con gli studenti della 5<sup>a</sup> e della 4<sup>a</sup> Classe del Liceo Classico, Linguistico "G.V. Catullo" di Monterotondo (Roma) sulla base delle Convenzioni stipulate per "Alternanza Scuola Lavoro 2017-2018 e 2018-2019 tra CNR - Istituto di Cristallografia (sede sec. Montelibretti, RM) e il Liceo Classico, Linguistico G.V. Catullo di Monterotondo, RM.

## Riferimenti

- 1 National Instruments è un'azienda statunitense produttrice di strumenti hardware e software per la misura e l'automazione industriale basati su personal computer.
- 2 già Vexta, Oriental Motor USA Corp., azienda produttrice dei motori e schede elettroniche per la movimentazione di apparati robotici <https://www.orientalmotor.com/index.html>.

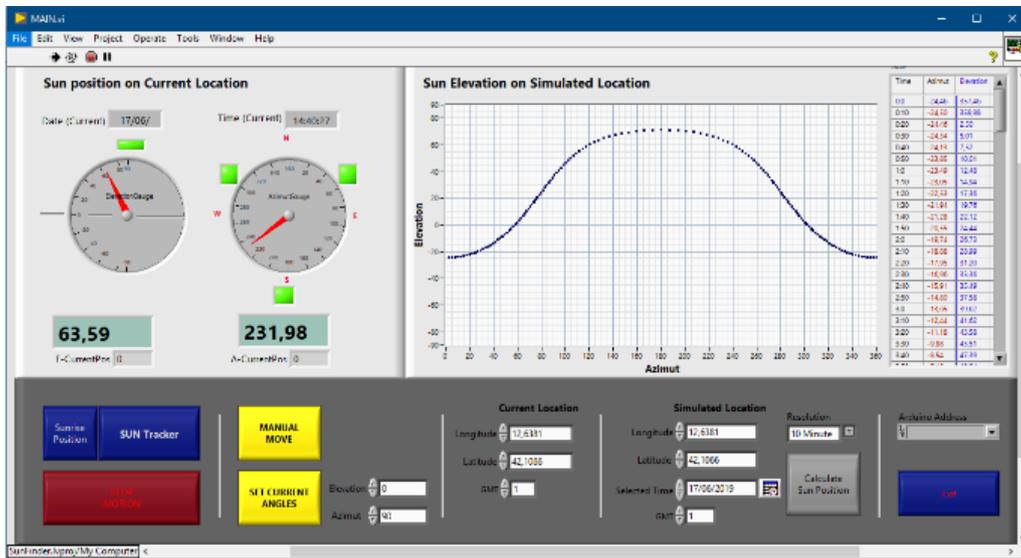


Fig. 9 Schermata principale del software di controllo.

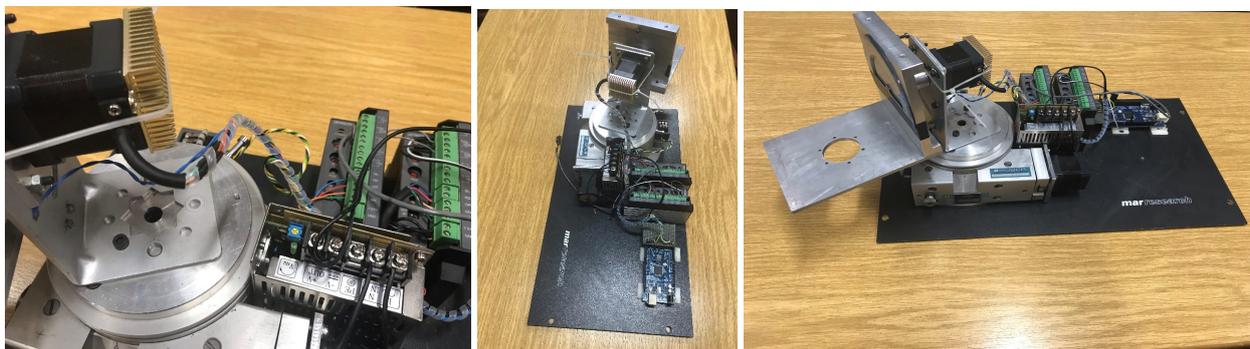


Fig. 10