

STAR

Solare Termodinamico ad Alto Rendimento

Dipartimento di Astronomia e Scienza dello Spazio

Università degli Studi di Firenze

Rapporto sulle attività dal 01/01 al 30/06 2009-06-29

Sistema di controllo attivo dei moduli di STAR

Il semestre di lavoro, sul sistema di controllo del progetto STAR, da gennaio a giugno 2009, è stato caratterizzato dall'approfondimento delle idee e delle soluzioni sviluppate durante le ricerche svolte nel secondo semestre 2008, nell'ottica di una loro realizzazione pratica. Da un lato sono state quindi esaminate nei dettagli realizzativi le soluzioni già individuate, dall'altro sono state ricercate nuove soluzioni e modificate o migliorate alcune delle soluzioni proposte, soprattutto nei casi in cui queste presentavano alcuni evidenti problemi a carattere teorico e/o costruttivo.

Una volta individuate le soluzioni si è proceduto ad una ricerca di mercato, basata anche su criteri di economicità, per l'acquisto dei materiali e per le forniture necessarie alla realizzazione del sistema di controllo. Nella fase successiva si procederà all'assemblaggio del concentratore e verranno effettuati tutti i test e le calibrazioni necessarie al corretto funzionamento di STAR.

La logica del sistema di controllo

Il sistema di controllo del modulo a otto pannelli mobili che andremo a realizzare, consiste nell'insieme dei sistemi hardware e software per la movimentazione degli specchi che consentano di massimizzare il fattore di concentrazione del sistema. L'ottimizzazione della concentrazione si ottiene operando sul singolo specchio in modo tale da impostare istante per istante la migliore orientazione del pannello in SMC di supporto. In tal senso il sistema di controllo è definito come *"attivo"*.

Come illustrato nei dettagli del report relativo al primo semestre, le soluzioni software costituiscono la logica per la movimentazione e/o deformazione dei pannelli attivi. In tale report erano state illustrate le due tipologie di logica di controllo a *"loop aperto"* e a *"loop chiuso"*, i loro pro e contro, ed era stato deciso di adottare una logica a loop chiuso, basata su una *retroazione* o *"informazione di feedback"* più o meno *"veloce"* per l'orientamento ottimale degli specchi e la correzione delle *"aberrazioni"* del sistema ottico in tempo reale. Infatti l'intero report verteva sull'individuazione delle possibili informazioni di retroazione da poter utilizzare per la chiusura logica del loop.

Avevamo anche stabilito che, in linea di principio, l'informazione di retroazione da monitorare riguarda essenzialmente gli effetti legati alle raffiche di vento (*wind gusting*), dato che le deformazioni introdotte dalla gravità non sono stocastiche, ma funzione esclusiva della posizione geometrica del pannello in un determinato istante.

Inoltre, adoperando opportuni materiali per il supporto degli specchi del tipo "*Sheet Moulding Compound*" (SMC), che consentono di realizzare prodotti in materiale composito di eccellenti caratteristiche strutturali e con coefficiente di dilatazione termica prossimo a quello dei vetri degli specchi, le deformazioni termiche possono considerarsi trascurabili rispetto agli effetti introdotti dalla gravità e dal vento.

Il sistema di controllo

In linea teorica, stabilite le caratteristiche geometriche e il posizionamento dei singoli specchi (assunti come rigidi) nell'array del concentratore, per una data locazione geografica e un dato giorno ed ora dell'anno, e nota la posizione dello specchio secondario su cui deve essere indirizzata la radiazione dal primario è possibile determinare le inclinazioni che devono assumere i singoli specchi rispetto ad un asse verticale ed uno orizzontale di rotazione in modo da convogliare efficientemente la radiazione verso il corpo nero, posto a terra sotto il secondario. Questi angoli di inclinazione, nel caso del concentratore che stiamo sviluppando, possono essere di fatto modificati dall'azione del vento e, in minor misura, dalla gravità. Quindi, attraverso un monitoraggio continuo in real-time dei valori di tali angoli e il confronto con le inclinazioni teoriche che debbano assumere gli specchi è possibile ottenere l'informazione di feedback che ci consente di chiudere la logica del sw del sistema di controllo di STAR.

Di fatto, attraverso l'utilizzo di semplici "goniometri" per le misure di angoli, è possibile conoscere le posizioni dei singoli specchi e correggerle con opportuni sistemi elettromeccanici, nel caso siano diverse da quelle descritte dal modello teorico. Ma come possono essere misurati questi angoli? Ed in particolare: come posso avere accesso in tempo reale ad una informazione digitale, da interpretare, che consenta di modificare la posizione degli specchi per equilibrare le azioni del vento e della gravità e al contempo ottimizzare il fattore di concentrazione?

La soluzione consiste nell'utilizzo di uno o più inclinometri digitali. Prima di descrivere il loro funzionamento vediamo, però, come sono impostati gli assi di rotazione dei singoli specchi e quali sistemi elettromeccanici consentano la loro movimentazione.

La Figura 1 illustra il retro della struttura di supporto del singolo specchio rigido, progettata dal Dip. di Meccanica e Tecnologie Industriali, che sarà realizzata in SMC dalla ditta Ronda HiTech. Ogni pannello SMC è dotato di uno snodo di supporto a croce per i due assi (orizzontale e verticale) e da due punti di aggancio su cui si innestano due attuatori lineari dotati di encoders incrementali, che consentono di misurare la corsa dei singoli attuatori e quindi, indirettamente, gli angoli di rotazione della struttura. Lo snodo a croce e gli attuatori lineari sono agganciati a loro volta al telaio in tubolari di alluminio di supporto dell'intera struttura ad 8 specchi, come illustrato nella Figura 2.

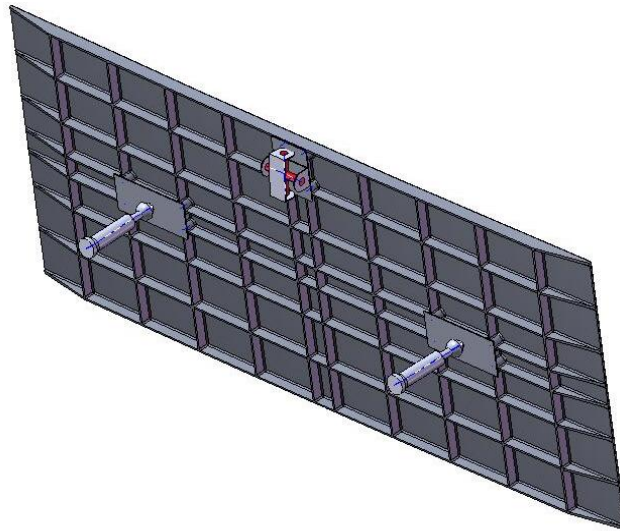


Figura 1

Retro del pannello in SMC, attuatori lineari e sistema di aggancio al telaio di supporto.

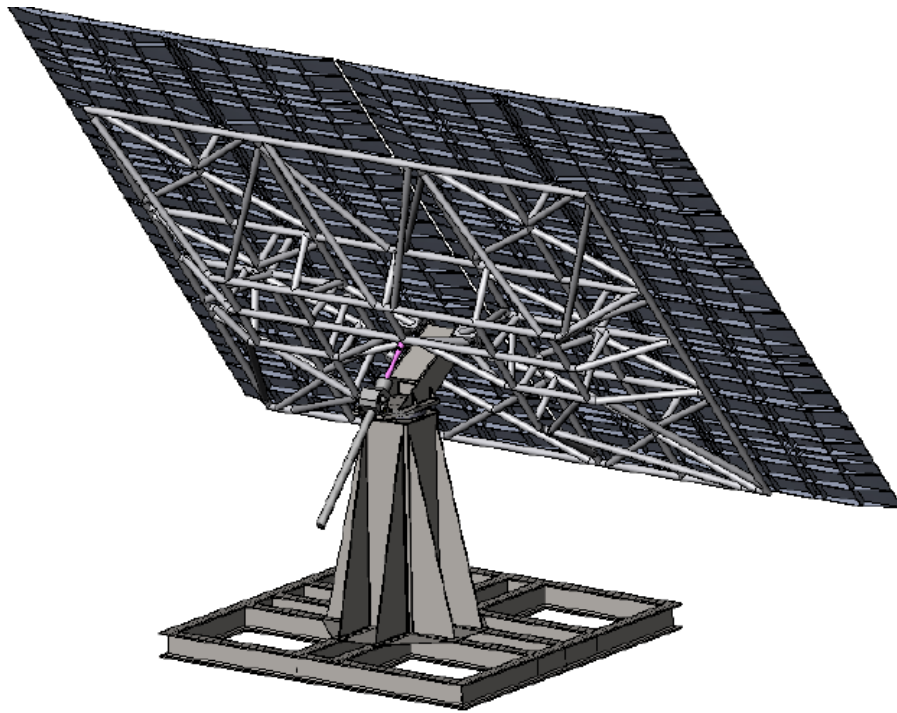


Figura 2

L'intero prototipo di concentratore, visto dal retro.

La posizione dello snodo è mantenuta ad una distanza di progetto dal telaio da un proprio supporto fisso. L'avanzamento e l'arretramento degli steli degli attuatori lineari consente la movimentazione dello specchio intorno ad entrambi gli assi. Le caratteristiche meccaniche degli attuatori lineari, combinate con la risoluzione degli encoders, consentono di raggiungere una precisione nel posizionamento degli specchi dell'ordine del decimo di mm o superiore.



Figura 3

Gli attuatori lineari.

Gli attuatori lineari scelti sono il modello ALI1-F di MecVel (v. Figura 3), insieme alla scheda di controllo MDC2-24V-10 che permette di pilotare due attuatori contemporaneamente (v. Figura 4).

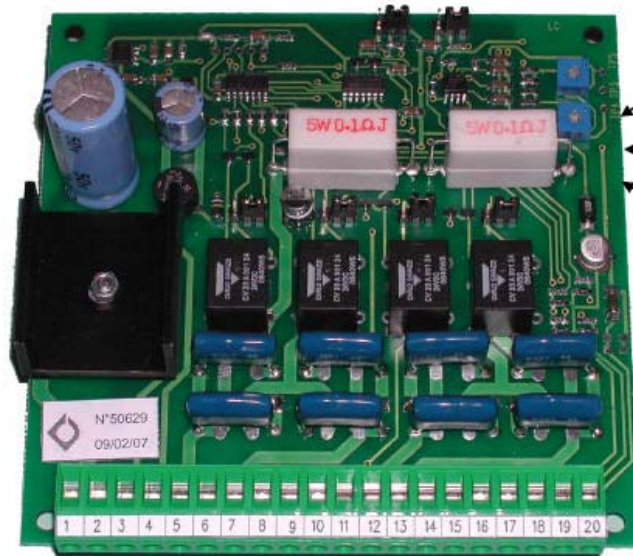


Figura 4

La scheda di controllo MecVel.

Tale scheda verrà utilizzata per i test e sarà interfacciata ad una scheda di controllo ideata e sviluppata dal Dip. di Astronomia e Scienza dello Spazio (DASS) il cui cuore è costituito da un microcontrollore della famiglia PIC di Microchip (PIC 18F4680).

Gli attuatori lineari, di fatto, vengono manovrati da quest'ultima scheda. Infatti la logica digitale di controllo è implementata nel firmware del microcontrollore a bordo della medesima scheda. Questo micro è caratterizzato da interfaccia ECAN (Enhanced Controller Area Network). Il modulo CAN consiste in una interfaccia di tipo seriale utilizzata per comunicare con altre periferiche o microcontrollori, PLC e/o PC. Questa interfaccia, o protocollo, è stato inizialmente ideato per permettere comunicazioni in ambienti rumorosi (nell'accezione elettromagnetica del termine), quali quelli industriali standard o del settore automotive (il protocollo CAN è utilizzato anche internamente alle autovetture, ed è supportato da un microcontrollore o simile presente nelle relative centraline). Ed è per questo motivo che è stato deciso di utilizzare proprio tale protocollo.

Il PIC18F4680 possiede un modulo CAN avanzato. Tale modulo è totalmente compatibile con il modulo CAN di altre famiglie PIC di vecchia generazione. Il miglioramento consiste nel fatto che possono essere gestite più maschere e filtri nonché un buffer di ricezione e trasmissione avanzato. Il modulo ECAN è compatibile con le specifiche CAN 2.0 A e B e supporta sia la modalità standard che estesa. Il massimo bit rate supportato è 1 Mbit/s ed una lunghezza dati compresa tra 0 e 8 bytes. La lunghezza del bus fisico è una funzione del bit rate e, a frequenze di comunicazione inferiori al limite di 1 Mbit/s, si possono coprire percorsi anche superiori ai 100 m.

Il firmware del PIC comunica direttamente su bus CAN con il sw di alto livello installato sul laptop di controllo di STAR. Tutti i comandi di movimentazione degli specchi sono impartiti dalla logica di controllo sulla base della misura degli angoli e del loro confronto con quelli teorici derivanti dalla geometria intrinseca del modulo e dalla posizione del Sole, che viene tabulata e letta dal medesimo sw. Le posizioni tabulate del Sole sono fornite al sw di controllo attraverso il Solar Position Algorithm (SPA), uno dei migliori algoritmi per inseguitori solari, sviluppato dal National Renewable Energy Laboratory (NREL) statunitense, ed opportunamente modificato per adattarlo efficientemente alla logica di controllo di STAR.

Per la misura degli angoli, oltre agli encoders degli attuatori lineari, viene adoprato anche un vero e proprio inclinometro digitale. Questo consiste in un accelerometro MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) a due assi, ossia un dispositivo elettronico integrato miniaturizzato in grado di misurare accelerazioni statiche e dinamiche, come illustrato in Figura 5.

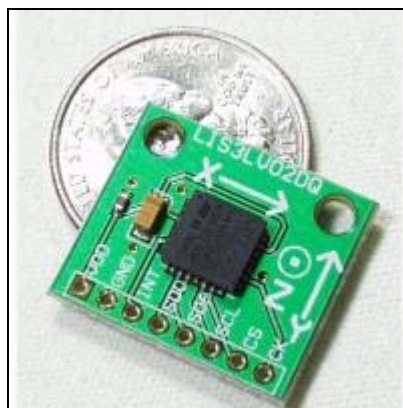


Figura 5

Un accelerometro MEMS.

L'idea, infatti, consiste nella misura della componente di accelerazione statica (l'accelerazione di gravità), funzione dell'inclinazione di uno degli assi dell'accelerometro rispetto alla direzione del filo a piombo (v. Figura 6).

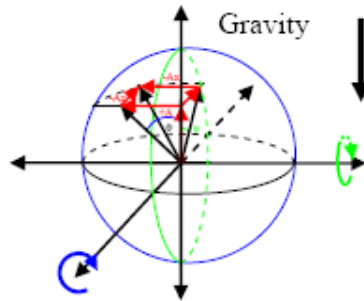


Figura 6

L'angolo rispetto alla verticale può essere misurato attraverso la determinazione della componente dell'accelerazione di gravità in un piano verticale.

L'accelerometro MEMS viene controllato direttamente dal PIC che, su una porta opportuna (CCPx), è in grado di misurare il duty-cycle di un segnale digitale prodotto internamente al MEMS, funzione dell'angolo di inclinazione di uno degli assi rispetto alla verticale del luogo, come illustrato in Figura 7. Tali dispositivi, se utilizzati in modo opportuno, consentono di raggiungere precisioni nella determinazione degli angoli dell'ordine del primo d'arco, che è proprio l'ordine di grandezza richiesta nella misura degli angoli nel progetto STAR. Inoltre sono poco ingombranti, hanno un peso totalmente trascurabile e da pochissimo tempo sono entrati nel mercato dell'elettronica dei consumabili, il che ha contribuito ad abbatterne drasticamente i costi. Spesso tali dispositivi, insieme ai giroscopi MEMS, rappresentano i componenti fondamentali nella realizzazione di piattaforme inerziali, utilizzate proficuamente per la navigazione aerea.

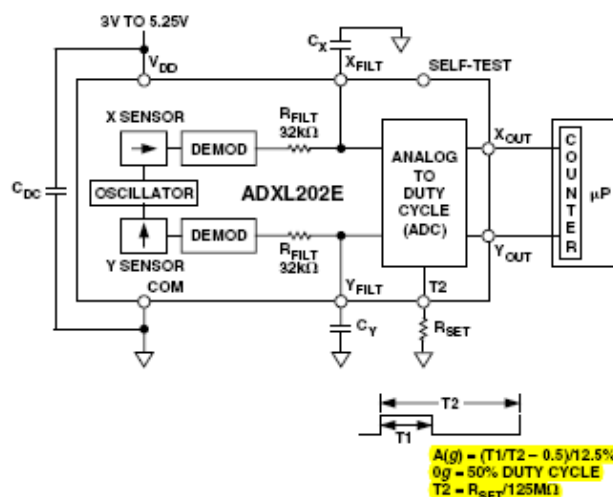


Figura 7

Schema elettrico semplificato dell'accelerometro MEMS

Quindi, la misura combinata degli angoli attraverso l'utilizzo degli encoders degli attuatori lineari con gli accelerometri, consente di determinare la posizione degli specchi in tempo reale e di correggerla nei tempi caratteristici delle deformazioni introdotte dalle raffiche di vento (dai secondi a qualche decina di secondi). L'accelerometro serve, inoltre, a dare la posizione di zero agli encoders relativamente alle rotazioni intorno ad un asse orizzontale. Questa informazione deve essere combinata con l'informazione proveniente da dei micro-switch di fine-corsa per l'azzeramento degli encoders incrementali relativamente all'asse di rotazione lungo la verticale. È quindi importante prevedere sulla struttura di supporto dei moduli, nelle posizioni più opportune, gli interruttori di fine-corsa per l'azzeramento degli encoders ed, eventualmente, i micro di fine-corsa degli steli degli attuatori. Tuttavia i massimi spostamenti lineari previsti sono di un ordine di grandezza inferiori alla massima corsa effettuabile, rendendo di fatto inutili i fine-corsa lineari.

L'accelerometro in questione (ADXL202E o ADXL203E di Analog Devices) è caratterizzato da due assi e da una sensibilità nella misura degli angoli che è funzione dell'angolo stesso (v. Figura 8). In particolare la sensibilità è massima quando l'angolo è nullo (situazione di parallelismo con l'orizzonte), mentre è minima a 90° (perpendicolarità all'orizzonte). Quindi, avendo a disposizione due assi, il layout della scheda di controllo è stato studiato in modo da utilizzarli entrambi, così da commutare la lettura da un asse all'altro al momento in cui l'inclinazione degli specchi attraversa in una direzione o nell'altra il valore di riferimento di 45°. In tal modo la sensibilità di misura non

scende mai al di sotto di circa 12 mg (g è l'accelerazione di gravità) per grado di tilt, consentendo precisioni di allineamento al di sotto di circa 1/10 di diametro solare.

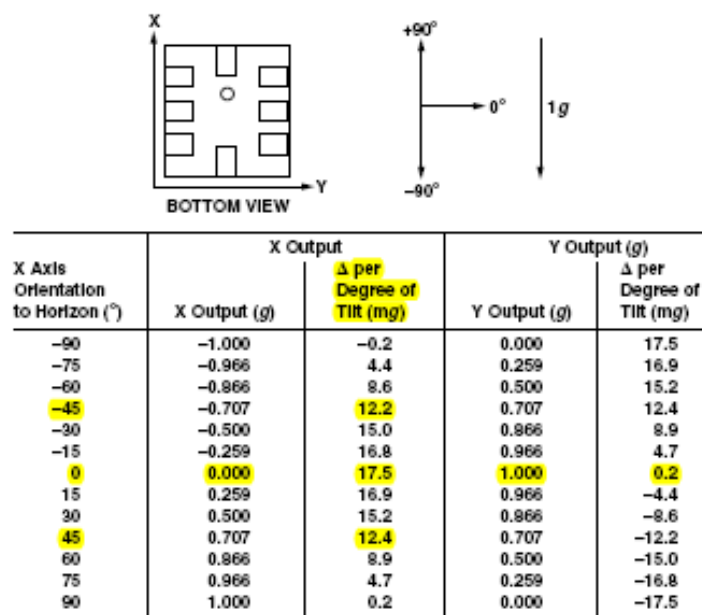


Figure 4. How the X and Y Axes Respond to Changes in Tilt

Figura 8

I due assi dell'accelerometro e le corrispondenti sensibilità di misura.

Un inconveniente nella misura degli angoli attraverso l'accelerometro consiste nel fatto che tale dispositivo è sensibile alle variazioni di temperatura e la risposta può quindi variare in funzione delle condizioni ambientali nell'arco diurno e/o stagionale. Per tale motivo la scheda di controllo è dotata di due sistemi di misura della temperatura con altrettanti sensori, uno grezzo ($dT = \pm 0.5$ °C) ed uno fine ($dT = \pm 0.1$ °C), in modo da calibrare opportunamente le misure in temperatura attraverso un algoritmo implementato nel firmware del microcontrollore.

Riassumendo, il micro avrà la funzione di:

- pilotare gli attuatori lineari;
- leggere gli encoders;
- leggere l'accelerometro;
- leggere la temperatura;

- elaborare parte dei dati on-board, attraverso le calibrazioni in temperatura;
- leggere le indicazioni dei finecorsa di azzeramento degli encoders;
- comunicare con il laptop di controllo attraverso il bus CAN;
- eventualmente gestire ulteriori tasks (per questo sono state previste delle porte di I/O libere).

Il PIC18F4680, grazie alle proprie risorse in termini di porte di I/O, frequenza di clock (48 MHz), e memoria sarà in grado di assolvere a tali compiti.

Dunque, la logica di controllo della posizione degli specchi di STAR, verrà installata direttamente sul pannello di supporto del singolo specchio rigido e, per tale motivo possiamo definire tale pannello “intelligente” o “*smart panel*” (v. Figura 9).

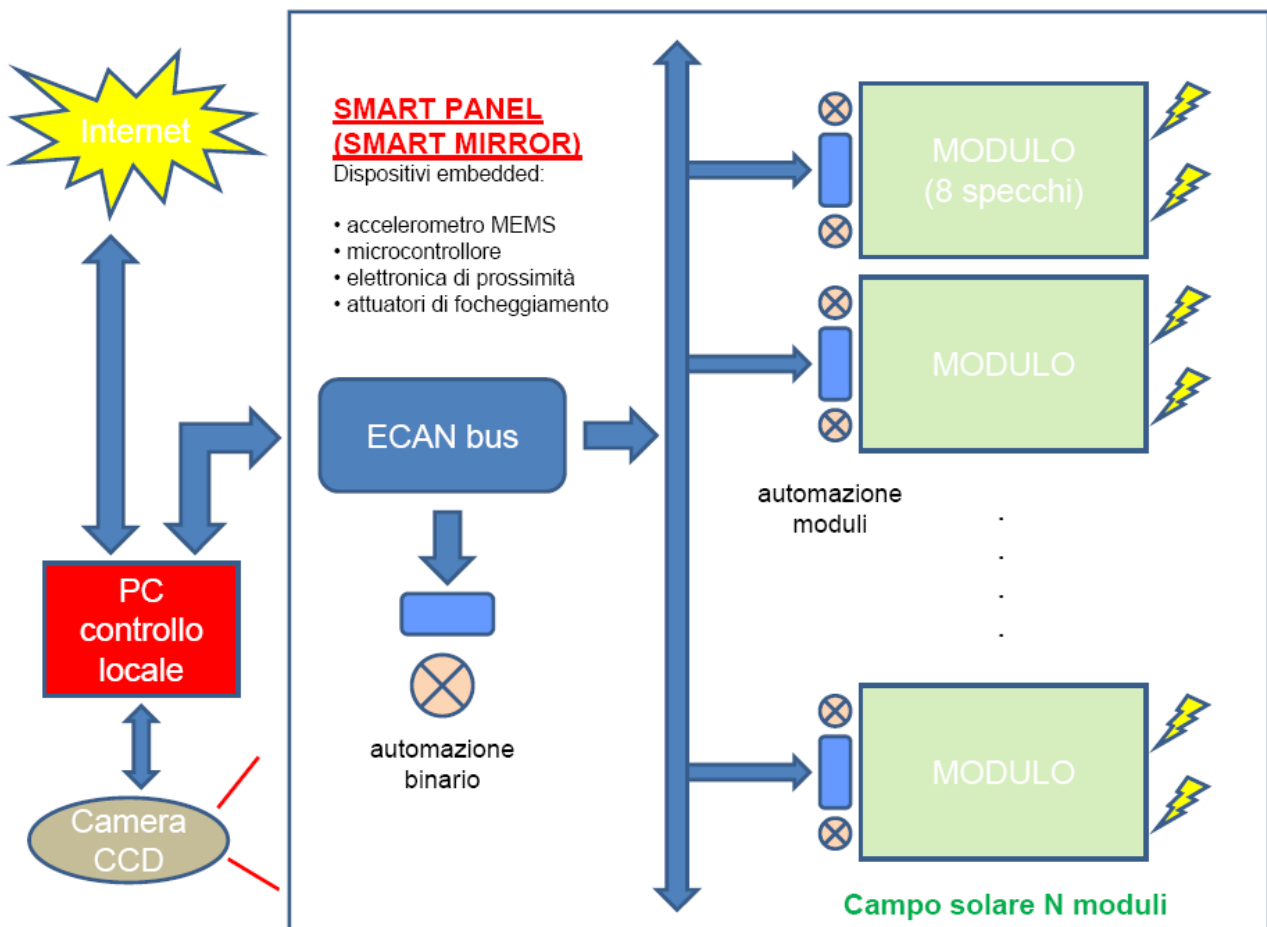


Figura 9

Schema a blocchi completo del sistema di controllo di STAR.

Di seguito viene riportato lo schematico completo della logica dello “*smart panel*”, realizzato in OrCAD.

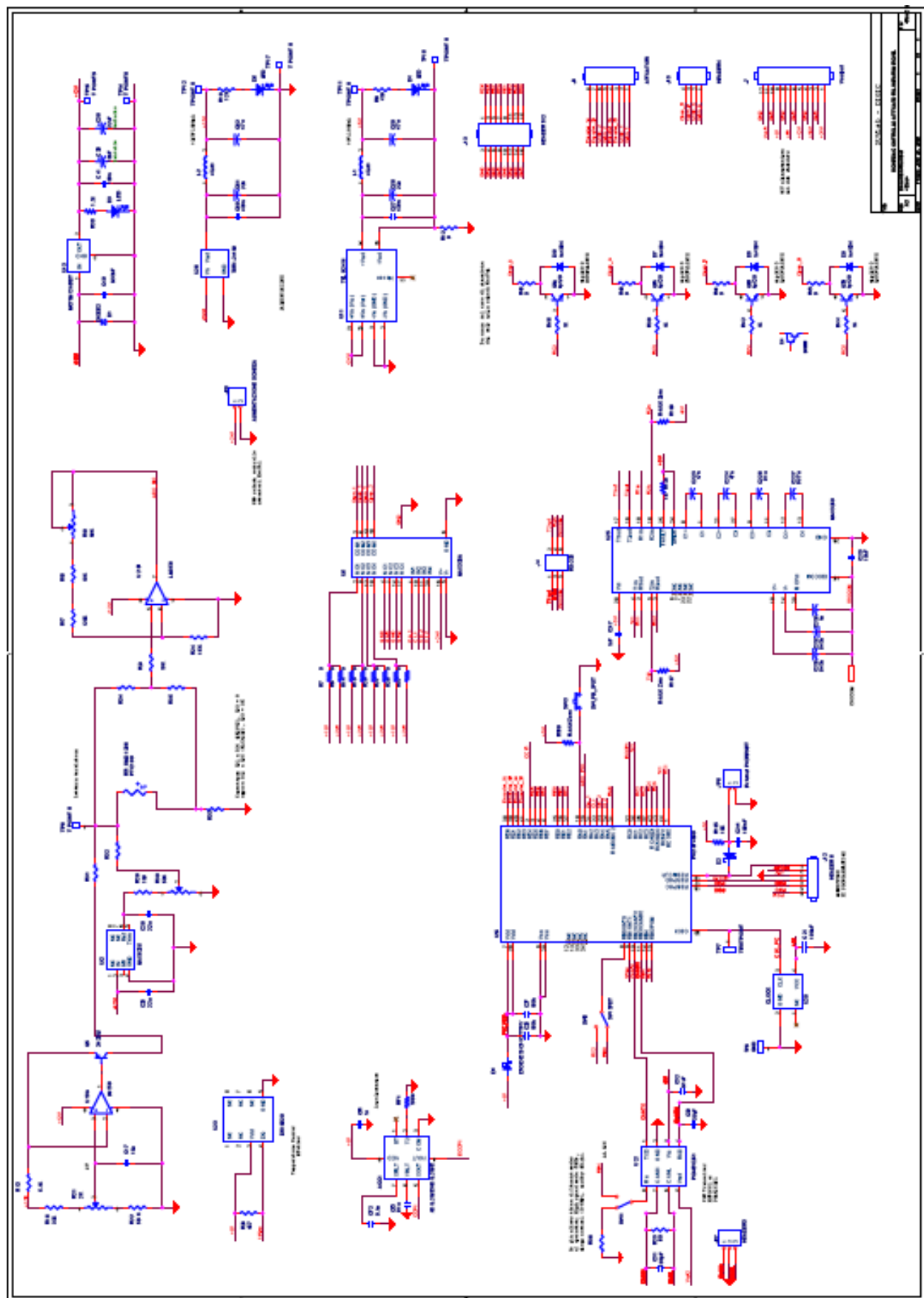


Figura 10

Schematico dell'elettronica installata sul pannello.

Come si può capire dallo schema a blocchi di Figura 9 anche gli altri dispositivi elettromeccanici per la movimentazione di STAR comunicano con il laptop o PC di controllo attraverso il bus CAN.

Infatti il telaio in tubolari di alluminio del modulo composto da 8 specchi è controllato in elevazione da un martinetto a vite a ricircolo di sfere di altissima precisione (dell'ordine del centesimo di mm) grazie ad un motore brushless Lexium BSH-0552M e relativo azionamento LXM05, come illustrato in Figura 11. La meccanica di precisione è dotata di vite in acciaio INOX e ruota elicoidale in bronzo ad alta resistenza (v. Figura 12), acquistata dalla ditta Weingrill di Torino, una azienda specializzata nella realizzazione di meccanica di precisione da più di trent'anni.



Figura 11

Azionamento e motore brushless Lexium.

L'intero prototipo, montato su un carrello motorizzato, può muoversi su un binario ad arco di cerchio centrato sullo scambiatore, in modo tale da seguire il Sole nel suo moto giornaliero in azimut da est verso ovest. Tale soluzione permette di mantenere durante il giorno condizioni di simmetria rispetto al piano sagittale passante per l'asse verticale di simmetria del prototipo, per il centro del corpo nero e per il centro del Sole. Tali condizioni di simmetria facilitano lo sviluppo della logica di controllo ed inoltre consentono di testare, con un singolo modulo, tutte le posizioni occupate dai vari moduli come lo sarebbero in un intero campo solare.

Quindi, per permettere di testare il prototipo di STAR per le varie posizioni possibili del campo solare, e per apportare alcune correzioni al moto di inseguimento, fondamentali per massimizzare l'efficienza di raccolta della radiazione, la struttura tubolare può ruotare intorno ad un asse

verticale. La rotazione intorno all'asse verticale è garantita da un motore passo-passo dotato di controller proprio e di opportuno riduttore, come illustrato in Figura 13.

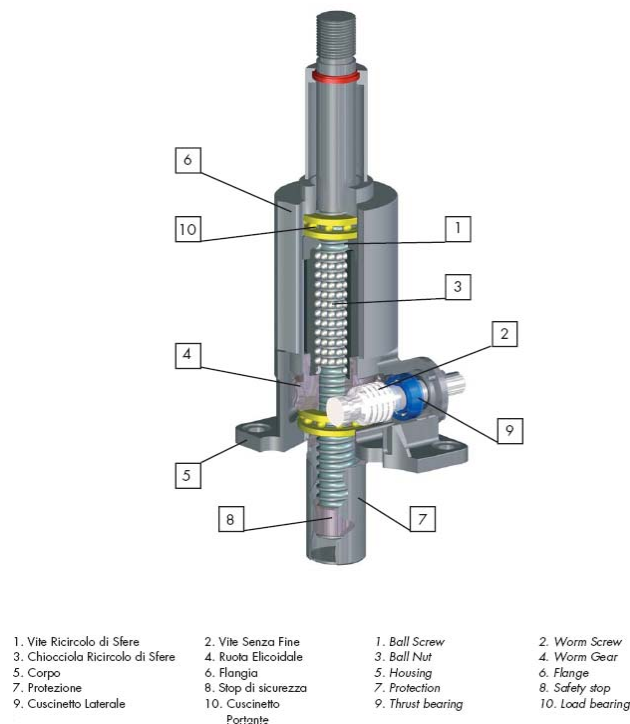


Figura 12

Vite a ricircolo di sfere composta da vite senza fine e ruota elicoidale.

In particolare, lo stepper motor è un α step della serie AS con controllo del passo a loop chiuso, un motore di tipo innovativo che utilizza un controllo ad anello chiuso per eliminare la perdita del passo. Anche per il rilevamento e codifica della posizione del rotore viene utilizzato un sensore di nuova concezione che sfrutta la variazione dell'induttanza causata dal cambiamento della distanza tra i denti dello statore e i denti sul rotore.



Figura 13

Stepper motor e relativo controller.

L'azionamento è caratterizzato da un posizionatore integrato programmabile, dotato di memoria interna. La funzione integrata di generatore di impulsi consente il pilotaggio del motore direttamente da un controllore esterno, come un PLC o un personal computer. Il posizionatore integrato permette di sviluppare soluzioni semplici ed efficaci per le applicazioni che richiedono l'uso di motori passo-passo. Esso risulta programmabile da PC attraverso interfaccia seriale.

Anche il motoriduttore per la movimentazione del carrello sarà dotato di motore ed azionamento Lexium della stessa famiglia del motore utilizzato per la movimentazione in elevazione. Infatti questi azionamenti verranno programmati e coordinati per il controllo contemporaneo dei motori attraverso un Lexium Controller LMC20, realizzando una configurazione per il motion control denominata Lexium PAC (v. Figura 14). Infatti il modulo, LMC20 di Lexium, rappresenta una soluzione ottimizzata per il comando e controllo di più assi con funzioni di automazione, grazie anche alla facilità d'integrazione nei sistemi di automazione industriali standard, attraverso i protocolli di comunicazione CANopen, Modbus ed Ethernet.



Figura 14

Soluzione Lexium PAC: controller, azionamento e motore.

L'accesso remoto dalla rete, grazie al protocollo Ethernet, è garantito anche dalla possibilità di accedere via Internet al web server integrato. Inoltre il pacchetto software in dotazione è caratterizzato da un'ampia libreria di blocchi funzione e dalla possibilità di programmare il controller o di utilizzarlo in modalità Jog (manuale).

La soluzione PAC, attraverso il controller LMC20 consente di controllare fino ad un massimo di otto assi contemporaneamente. Purtroppo, la tipologia di riduttore necessario per la rotazione della struttura intorno all'asse verticale e la posizione obbligata del motore all'interno della colonna di supporto non hanno consentito di impiegare un motore della stessa famiglia per questo asse, ma di ricorrere ad un motore stepper, con relativo controller. Tuttavia, anche se non semplicemente, come nel caso dell'azionamento e del controller Lexium, l'azionamento-controller dello stepper motor può essere interfacciato o direttamente al PC di controllo o attraverso il controller LMC20.



Figura 15

Soluzione Lexium PAC e relative connessioni.

Il controller LMC20 si interfaccia al PC o laptop di controllo attraverso cavo Ethernet e protocollo ModBus (*motion control*). La connessione controller–azionamenti (*motion bus*) avviene sempre via cavo Ethernet e connettori RJ45, sfruttando il protocollo CANopen, una evoluzione del protocollo CAN (v. Figura 15). Inoltre il bus CANopen, con relativo connettore sul controller LMC20, consente di interfacciare il medesimo al microcontrollore PIC sulla scheda di controllo degli attuatori lineari dei singoli specchi. Ciò avviene grazie all’edizione e al caricamento nel controller di file EDS, che consentono la comunicazione su bus CANopen.

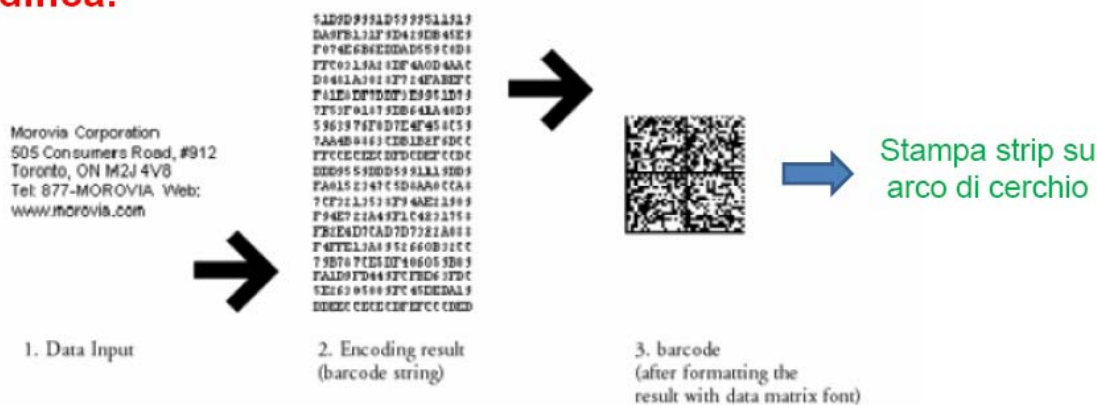
Anche i motori per la movimentazione in elevazione e lungo il binario di STAR sono dotati di encoders. In particolare l’encoder del motore del martinetto a ricircolo di sfere è di tipo incrementale e necessita esternamente di un microinterruttore per la determinazione del finecorsa di azzeramento, relativamente ad una posizione di riferimento del telaio di supporto degli specchi. Eventualmente si possono prevedere sulla struttura meccanica anche dei microinterruttori di finecorsa meccanica, dato che l’azionamento LXM05 è dotato di ingressi per finecorsa micro e per finecorsa di azzeramento encoder.

L’encoder del motoriduttore del carrello è, invece, di tipo assoluto e consente di mantenere anche in assenza di alimentazione la posizione di riferimento. Tuttavia, per determinare la posizione del

carrello lungo i binari di STAR è previsto un sistema di codifica/decodifica della posizione molto particolare, che può funzionare indipendentemente dalla presenza o meno dell'encoder sul motore.

Infatti è previsto l'utilizzo di un sistema di codifica e decodifica della posizione attraverso un codice a barre DataMatrix stampato su cartone plastificato da esterno ed incollato direttamente su uno dei binari. La lettura del codice può essere effettuata attraverso un opportuno lettore di codice a barre bidimensionale (Lynx DataLogic) o tramite semplice webcam. Questa soluzione è, al contempo, molto efficace ed economica.

Codifica:



Decodifica:



Figura 16

Sistema di codifica/decodifica della posizione assoluta del carrello.

L'intero procedimento è schematizzato in Figura 16. Il DataMatrix è un formato particolare di codice a barre bidimensionale che consente un alto contenuto di informazione in una superficie ridotta. Infatti, a circa 15 m di distanza dal centro di rotazione, 4 mm lineari corrispondono ad un angolo di circa un primo d'arco. Quindi, codificando la posizione su una superficie di circa 4 mm x 4

mm è possibile costruire un encoder assoluto della risoluzione richiesta da STAR. La codifica avviene tramite l'uso di software free scaricabile direttamente dalla rete che consente di stampare con una normale stampante (meglio se laser) il codice a barre bidimensionale. La decodifica avviene poi in tempo reale riprendendo l'immagine del codice a barre attraverso una webcam, come illustrato in Figura 16, e sfruttando il sw e i driver in dotazione alla webcam. Con una spesa totale di circa 30 euro si ottiene così un sistema efficace per la determinazione della posizione assoluta del carrello di STAR lungo i binari.

Il carrello mobile su cui è installata la colonna di supporto del telaio in tubolari di alluminio dovrà prevedere anche un armadietto opportunamente protetto dagli agenti atmosferici (grado di protezione IP65) dentro al quale saranno montate delle barre DIN su cui installare gli azionamenti, il controller dei motori e l'alimentatore a 24V DC per l'alimentazione dei medesimi e delle schede di controllo degli attuatori lineari. L'alimentazione dei motori e dell'armadietto sarà del tipo monofase 220V AC, attraverso una bobina di cavo con avvolgitore automatico, in modo da consentire il movimento del carrello lungo i binari in andata e in ritorno senza intralciare il moto. I cavi per il controllo e per l'alimentazione saranno passati attraverso degli anelli disposti lungo il percorso dei binari in modo da semplificarne lo svolgimento e il riavvolgimento. Il cablaggio della struttura mobile sarà quindi in bassa tensione (24V DC), dalla quale verranno derivate tutte le altre tensioni necessarie al funzionamento dell'elettronica di controllo (queste sono generate sulle schede che implementano il microcontrollore PIC). Le tensioni DC disponibili saranno quindi 24V, 12V, 5V, 2.5V.

Inoltre, il carrello, sarà dotato di un braccetto meccanico per il montaggio della webcam, collocata in corrispondenza del binario sul quale verrà incollato il codice strip datamatrix, e da due ganci con altrettanti tenditori per i cavi che consentiranno la rotazione dello specchio secondario di pari passo con il primario (gli 8 specchi mobili). E' prevista infatti, almeno come possibilità da investigare, la rotazione dello specchio secondario attraverso due tiranti guidati dal movimento lungo i binari del carrello. Nel caso in cui questa non fosse efficiente potremo procedere alla sostituzione con motore, encoder ed azionamento controllato direttamente dal controller LMC20 in grado di controllare, come detto, fino ad 8 assi.

Il personale di ricerca del DASS è stato partecipe, inoltre, nella ideazione e progettazione della struttura a torre per il montaggio dello specchio secondario e per l'alloggiamento del corpo nero,

nella definizione del sistema di monitoraggio della radiazione sulla bocca del corpo nero, oltre che nelle attività pratiche di verniciatura e di montaggio delle traversine e dei binari.

Infatti, lo specchio secondario, sarà collocato ad un'altezza da terra di circa 6 m e sostenuto da una struttura reticolare a tubi Innocenti, al contempo leggera e poco sensibile alle raffiche di vento. Lo specchio potrà ruotare intorno ad un asse verticale, la cui meccanica di precisione verrà interfacciata a quella della torre.

Purtroppo, durante la progettazione del sistema di controllo, si sono accumulati dei ritardi dovuti per lo più alla difficoltà di reperire in tempi brevi le offerte per le forniture e a malintesi relativi alle caratteristiche essenziali del materiale occorrente, oltre che a vari problemi a carattere prettamente amministrativo riguardanti gli ordini, che hanno portato ad una dilatazione dei tempi previsti.

Oltre ai controller, agli azionamenti, e ai motori sono stati acquistati (o sono in fase di acquisto) un laptop per il controllo, una scheda USB-CAN per i test di comunicazione, la webcam, gli attuatori lineari e la relativa elettronica, i materiali di consumo per il montaggio delle schede di controllo, ecc...

Inoltre nel capitolo di spesa è da considerarsi la fornitura del layout e i test elettrici delle schede di controllo da parte della ditta DIGIC di Montespertoli (FI), che verranno realizzate all'esterno da una delle tante ditte specializzate nella realizzazione di PCB (Printed Circuit Board).

Conclusioni

Lo studio delle problematiche relative al sistema di controllo di STAR ha condotto a soluzioni efficaci ed economiche, per alcuni aspetti molto innovative. E' chiaro che, trattandosi di un prototipo, si è ritenuto opportuno adottare talvolta soluzioni ridondanti in modo da testare all'atto pratico l'efficacia di una soluzione nei confronti di altre. Anche l'elettronica di controllo implementa soluzioni ridondanti, la cui selezione verrà demandata alla sperimentazione sul campo. I costi a metro quadro di STAR, al momento, sono sicuramente superiori ai costi di un impianto a concentrazione standard, come quello di Priolo Gargallo a Siracusa. Tuttavia, una volta terminata la fase di sperimentazione, le molteplici soluzioni verranno scremate in modo da scegliere quelle che siano al contempo efficaci ed economicamente accettabili, ossia quelle ove il

rapporto fra incremento dei costi ed incremento del fattore di concentrazione totale sia vantaggioso rispetto alle soluzioni attuali.

Sviluppi futuri

Nell'immediato futuro sono previsti il montaggio del concentratore, della struttura di supporto del secondario e i test e le calibrazioni del sistema di controllo di STAR, in modo da avere entro il mese di novembre un prototipo di concentratore solare funzionante, innovativo e competitivo.