

**SHCT**  
**User Requirements Document**

## Stato del Documento

1. DOCUMENT TITLE: <b>SHCT URD</b>			
2. Edizione	3. Revisione	4. Data	5. Motivi per variazioni
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2007-05</b>	

## Riassunto

Il presente programma SHCT ha come scopo la taratura e la verifica di un casco strumentato con accelerometri lineari e giroscopi. Gli output del casco sono le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0$ -g) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

Nel presente documento vengono definite le richieste dell'utente che il programma deve soddisfare.

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Obiettivo del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Definizioni, acronimi e abbreviazioni .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Riferimenti bibliografici.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Riassunto del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Descrizione generale .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Caratteristiche generali.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Vincoli generali .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>Caratteristiche dell'utente .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4</b>	<b>Ambiente operativo.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Requisiti specifici .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Caratteristiche richieste .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Vincoli richiesti .....</b>	<b>4</b>

## 1 Introduzione

### 1.1 Obiettivo del documento

Il presente documento serve per definire quali sono i requisiti voluti dall'utente del software.

### 1.2 Definizioni, acronimi e abbreviazioni

- **SHCT**: Software Helmet Calibration and Testing
- **URD**: User Requirements Document
- **( $a_0-g$ )**: accelerazione lineare dell'origine del casco sottratta dell'accelerazione di gravità
- **MP**: sistema di taratura a pendolo semplice
- **DP**: sistema di taratura a doppio pendolo
- **SO**: Sistema Optoelettronico

### 1.3 Riferimenti bibliografici

- [1] [http://www.mathworks.com/support/sysreq/current\\_release/index.html](http://www.mathworks.com/support/sysreq/current_release/index.html)

### 1.4 Riassunto del documento

Il presente documento è suddiviso in due parti. Nella prima sono riportate le applicazioni di tipo scientifico del software mentre nella seconda parte sono riportate le richieste dell'utente in merito alle prestazioni informatiche del software.

## 2 Descrizione generale

### 2.1 Caratteristiche generali

Il software sviluppato ha il compito di tarare il casco e di verificare le funzionalità dello stesso. Per far questo bisogna avvalersi di ulteriori strumenti di taratura. Vengono utilizzati il sistema optoelettronico VICON, un sistema a pendolo (MP) ed uno a doppio pendolo (DP) sviluppati *ad hoc* per il lavoro di dottorato inerente al software SHCT.

Il presente software in generale deve:

- calcolare la matrice di taratura degli accelerometri e dei giroscopi posti sul casco tramite metodo ai minimi quadrati degli output di tali sensori rispetto a quelli degli encoder posti sugli assi di rotazione dei sistemi MP e DP
- applicare la matrice di taratura precedentemente definita agli output del casco in modo da poter calcolare le grandezze cinematiche quali l'accelerazione e la velocità angolare e ( $a_0-g$ ).
- Confrontare i dati ottenuti con quelli derivanti da strumentazione più accurata in modo da poter valutare metrologicamente il dispositivo.

### 2.2 Vincoli generali

Il software è stato sviluppato in ambiente MatLab® (versione 2006b). Per tale motivo l'utente per accedere al software **SHCT** dovrà avere in licenza il suddetto programma.

### *2.3 Caratteristiche dell'utente*

Il software sviluppato potrà essere utilizzato da chi dispone del casco strumentato o, nel caso più generale, debba tarare ed utilizzare un dispositivo su cui sono montati dei sensori inerziali quali accelerometri lineari e giroscopi.

### *2.4 Ambiente operativo*

Come riportato al punto 2.2 il software è stato sviluppato in ambiente MatLab® e, per tale motivo, la piattaforma hardware su cui deve essere installato il programma dovrà supportare i requisiti richiesti da *The MathWorks*® [1].

## **3 Requisiti specifici**

### *3.1 Caratteristiche richieste*

Il codice sorgente sviluppato deve essere efficiente in modo da ridurre l'onerosità computazionale ed allo stesso tempo deve garantire caratteristiche di precisione numerica in modo da non inficiare i risultati ottenuti.

### *3.2 Vincoli richiesti*

Il codice sviluppato deve essere adeguatamente commentato in modo da rendere ogni script autoesplicativo.

**SHCT**  
**Software Specification Document**

## Stato del Documento

1. Titolo del Documento: <b>SHCT SSD</b>			
2. Edizione	3. Revisione	4. Data	5. Motivi per variazioni
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2007-05</b>	

## Riassunto

Il presente programma SHCT ha come scopo la taratura e la verifica di un casco strumentato con accelerometri lineari e giroscopi. Gli output del casco sono le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0$ -g) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

Nel presente documento vengono definite le specifiche tecniche di sviluppo e codifica del programma.

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Obiettivo del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Definizioni, acronimi e abbreviazioni .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Riferimenti bibliografici.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Riassunto del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Descrizione del modello.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Requisiti specifici .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Requisiti funzionali.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Prestazioni richieste.....</b>	<b>4</b>
<b>3.3</b>	<b>Interfaccia richiesta .....</b>	<b>4</b>
<b>3.4</b>	<b>Risorse richieste .....</b>	<b>4</b>
<b>3.5</b>	<b>Documentazione richiesta .....</b>	<b>4</b>
<b>3.6</b>	<b>Requisiti di sicurezza .....</b>	<b>4</b>
<b>3.7</b>	<b>Requisiti di portabilità .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Progetto del sistema.....</b>	<b>4</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodologia progettuale .....</b>	<b>4</b>
<b>4.2</b>	<b>Descrizione dei componenti del progetto .....</b>	<b>5</b>

## 1 Introduzione

### 1.1 Obiettivo del documento

Nel presente documento vengono riportate le specifiche tecniche per lo sviluppo di SHCT in accordo con il documento URD.

### 1.2 Definizioni, acronimi e abbreviazioni

- **SHCT**: Software Helmet Calibration and Testing
- **URD**: User Requirements Document
- **SSD**: Software Specification Document
- **( $a_0-g$ )**: accelerazione lineare dell'origine del casco sottratta dell'accelerazione di gravità
- **MP**: sistema di taratura a pendolo semplice
- **DP**: sistema di taratura a doppio pendolo
- **SO**: Sistema Optoelettronico
- **K**: Matrice di sensibilità globale
- **RMSE**: Root Mean Square Error

### 1.3 Riferimenti bibliografici

- [1] [http://www.mathworks.com/support/sysreq/current\\_release/index.html](http://www.mathworks.com/support/sysreq/current_release/index.html)

### 1.4 Riassunto del documento

Il presente documento è suddiviso in tre parti. Nella prima viene descritto il modello logico di SHCT, nella seconda parte sono riportate le specifiche tecniche del programma ed infine, nella terza parte, viene descritto il modello fisico del sistema elencando gli script utilizzati.

## 2 Descrizione del modello

L'obiettivo del software sviluppato è quello di poter tarare e verificare il casco strumentato con sensori inerziali tramite l'utilizzo del sistema optoelettronico (SO), del sistema a pendolo semplice (MP) e del sistema a doppio pendolo (DP).

La taratura del casco viene effettuata dal programma nel seguente modo:

- vengono caricati i dati acquisiti dal casco, dagli encoder presenti nei sistemi MP e DP e dal sistema SO.
- Si determinano le posizioni degli accelerometri sul casco tramite SO o DP.
- Si determina la sensibilità e i vettori degli assi sensibili di ogni sensore inerziale tramite SO, MP o DP.
- Si utilizzano i dati precedentemente trovati per costruire la matrice di sensibilità globale **K**.

La verifica del casco avviene nel modo seguente:

- La matrice **K** viene moltiplicata per gli output del casco in modo da fornire l'accelerazione angolare, l'accelerazione lineare e la velocità angolare del casco.
- Tramite derivazione numerica si ottiene dai dati degli encoder presenti nel sistema DP i succitati parametri cinematici.
- Le grandezze misurate con il casco e quelle ottenute nel punto precedente vengono confrontate tra loro in modo da valutare l'errore che si commette utilizzando il casco. Per far questo si utilizza il *Root Mean Square Error* (RMSE) tra i parametri misurati.

## 3 Requisiti specifici

Nella presente sezione vengono riportate ed analizzate le specifiche di sviluppo del programma.

### 3.1 *Requisiti funzionali*

SHCT deve essere sviluppato in Matlab. Tale linguaggio semicompilato ad alto livello è uno dei più usati dalla comunità scientifica internazionale data la sua intrinseca semplicità di utilizzo ma, allo stesso tempo, alta efficienza computazionale e per altro rappresenta uno standard *de-facto* internazionale consentendo quindi la facile intelligibilità del pacchetto sorgente prodotto.

### 3.2 *Prestazioni richieste*

Il software sviluppato deve essere in grado di analizzare i dati in input eseguendo le operazioni in un tempo ridotto in quanto, se la prova effettuata è di lunga durata si potrebbe avere un rallentamento notevole nella fase di analisi dati. Per far questo è richiesta un'ottimizzazione nella scelta delle funzioni da utilizzare in modo da aumentare l'efficienza del software.

### 3.3 *Interfaccia richiesta*

Non è richiesta alcuna interfaccia grafica specifica.

### 3.4 *Risorse richieste*

La piattaforma hardware su cui deve essere installato il programma dovrà supportare i requisiti richiesti dal programma *MatLab*®, ossia dalla casa produttrice *The MathWorks*® [1]

### 3.5 *Documentazione richiesta*

La documentazione riguardante il codice sorgente deve essere dotata di opportune intestazioni e commenti in modo da rendere facile la comprensione a utenti meno esperti nell'uso della piattaforma *MatLab*®.

### 3.6 *Requisiti di sicurezza*

Il software sviluppato non richiede alcun requisito in merito alla sicurezza informatica.

### 3.7 *Requisiti di portabilità*

La portabilità di SHCT è limitata dalla necessaria presenza sull'hardware in uso del software *MatLab*®.

## 4 **Progetto del sistema**

### 4.1 *Metodologia progettuale*

L'obiettivo del software è quello di tarare il dispositivo sviluppato e convertire gli output dei sensori inerziali nelle grandezze cinematiche utili all'analisi del movimento della testa. Per raggiungere tale obiettivo si è suddiviso il software in otto script ognuno dei quali deve svolgere un compito differente dagli altri. Alcuni script risultano essere interconnessi tra loro in quanto per il funzionamento di uno può essere richiesta la compilazione precedente di un altro.

### 4.2 *Descrizione di ogni componente del progetto*

Gli script implementati e gli scopi ad esso associati sono:

- I **Taratura SO**: script utilizzato per determinare le posizioni degli accelerometri sul casco e la direzione degli assi sensibili e della sensibilità degli accelerometri. Lo script ha in ingresso i dati in volt degli accelerometri e la posizione espressa in millimetri dei marker posti sul casco durante un movimento di tipo quasi statico.
- II **Taratura MP**: Determinazione della direzione degli assi sensibili e della sensibilità degli accelerometri. Lo script ha in ingresso i dati in volt degli accelerometri e l'angolo di rotazione del casco misurato tramite encoder direttamente in gradi; in uscita si ha un cluster **A** in cui sono registrate le sensibilità e le posizioni degli accelerometri ottenute con il SO.



- III **Taratura DP:** Determinazione della direzione degli assi sensibili, della sensibilità e delle posizioni degli accelerometri. Lo script ha in ingresso i dati in volt degli accelerometri e gli angoli di rotazione direttamente in gradi del casco misurato tramite due encoder; in uscita si ha un cluster **A** in cui sono registrate le sensibilità e le posizioni degli accelerometri ottenute con il DP.
- IV **Taratura Giro:** Determinazione degli assi sensibili e della sensibilità dei giroscopi presenti sul casco. Lo script ha in ingresso i dati in volt dei giroscopi e gli angoli di rotazione direttamente in gradi del casco misurato tramite due encoder; in uscita si ha un cluster **G** in cui sono registrate le sensibilità dei giroscopi.
- V **Salvataggio matrice sensibilità casco:** Script per la registrazione della matrice di sensibilità del casco. In ingresso si hanno i cluster **A** e **G** precedentemente calcolati e in output un file '**cluster casco**' contenente **A** e **G**.
- VI **Cinematica Casco:** Lo script accetta in ingresso i dati del casco acquisiti in una prova statica e nella prova dinamica. In uscita fornisce le accelerazioni lineari ed angolari e la velocità angolare misurate tramite il casco strumento.
- VII **Confronto DP:** determina le grandezze cinematiche riferite al casco montato sul doppio pendolo dagli output degli encoder.
- VIII **Verifica Casco:** Vengono caricate in ingresso le grandezze cinematiche calcolate con il casco e con il doppio pendolo (script V e VI) e vengono confrontate calcolando il valore del root Mean Square Error (RMSE).
- IX **Libreria funzioni:** All'interno della libreria sono presenti le funzioni create appositamente per il software e altre funzioni non scritte dallo sviluppatore di SHCT ma non presenti nel pacchetto *MatLab*®.

Di seguito sono riportati i diagrammi di flusso relativi al software sviluppato. Per maggiore chiarezza si riporta la didascalia dei colori utilizzati nei diagrammi:

- **blu:** input del sistema
- **giallo:** parti inerenti a SHCT
- **verde:** output del sistema
- **rosso:** script utilizzato

Per ulteriori informazioni maggiormente dettagliate si rimanda al documento allegato SHCT SCD.

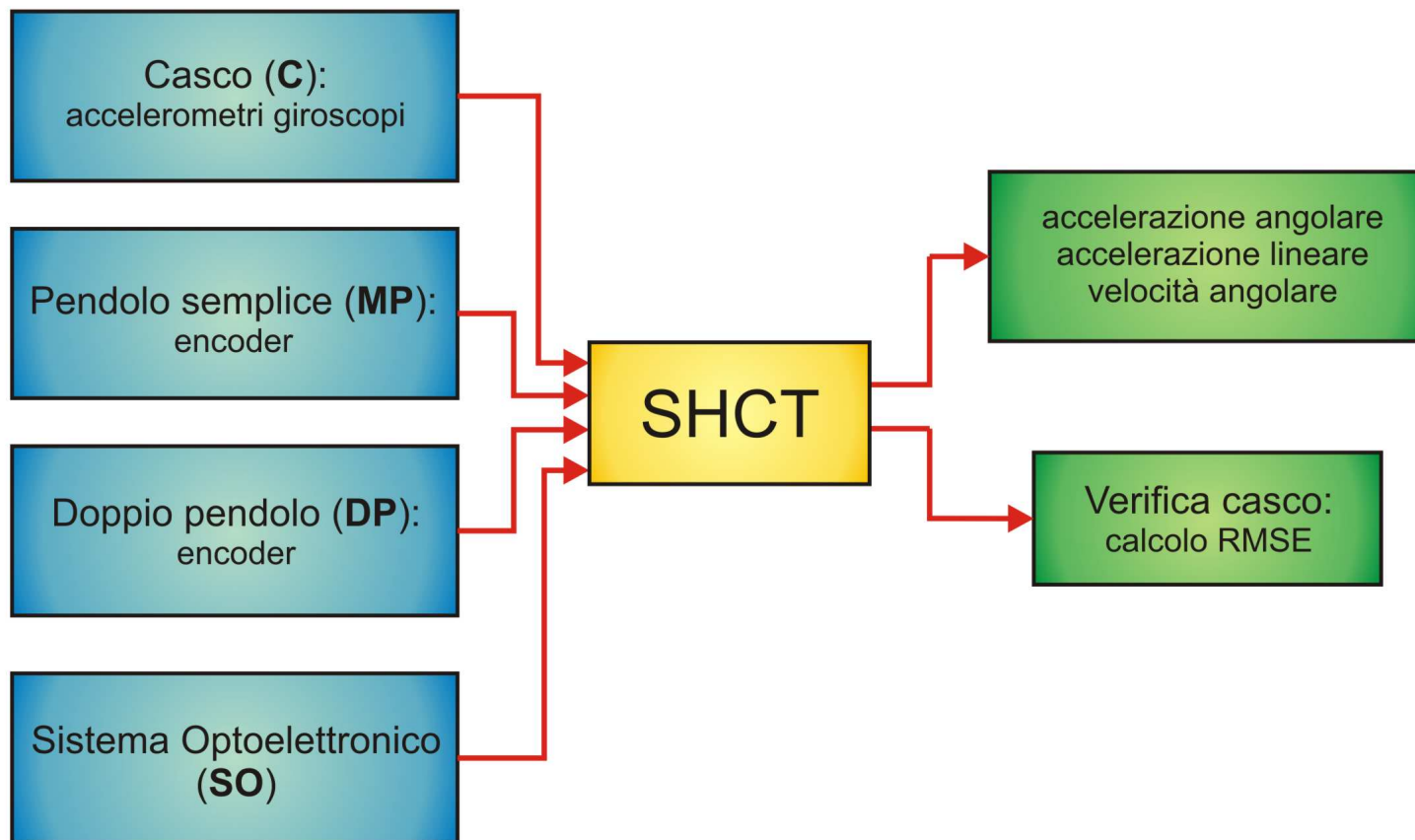


Figura 1 Diagramma degli input e output del software SHCT

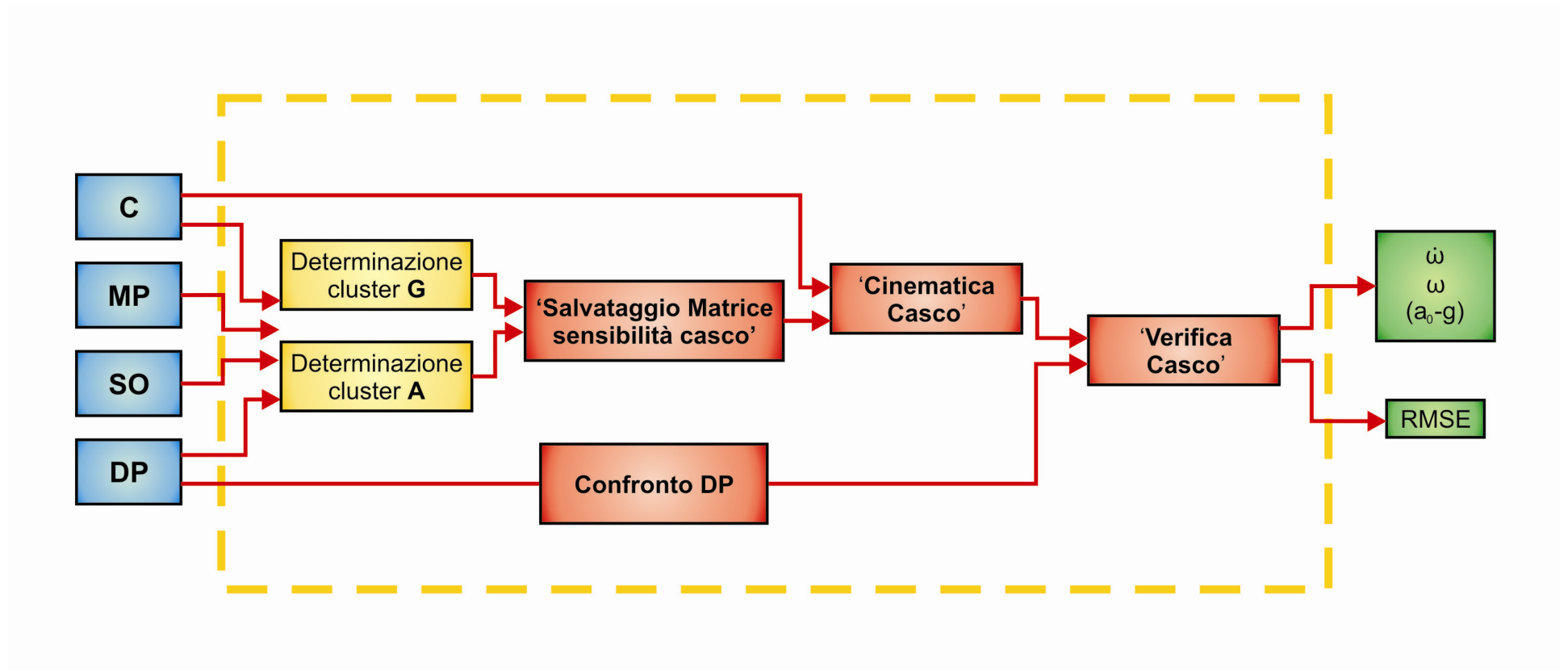


Figura 2 Schema dettagliato di SHCT. In rosso sono presenti gli script implementati

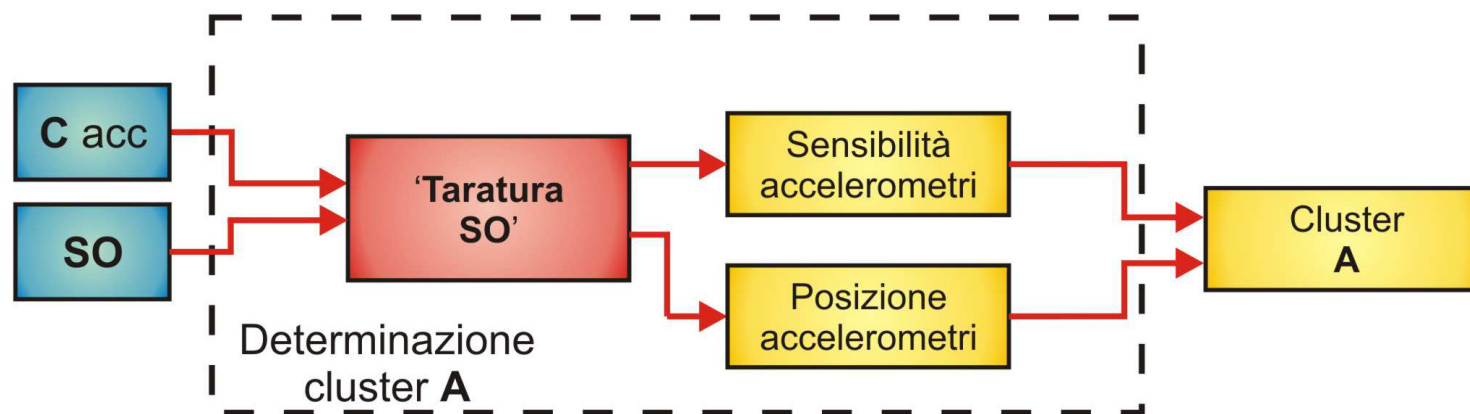


Figura 3 dettagliato di determinazione cluster A tramite Sistema optoelettronico

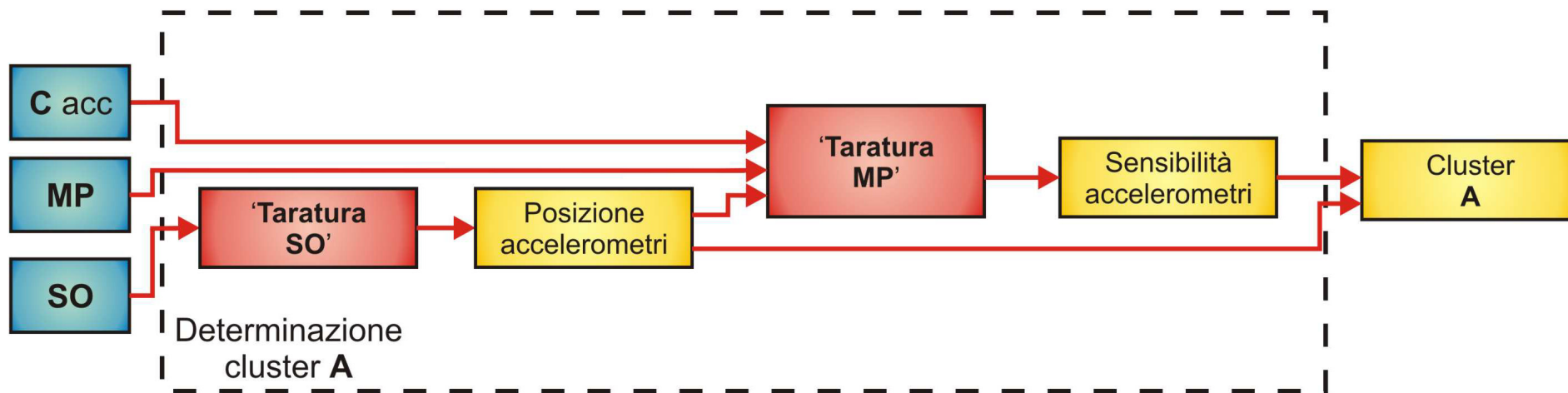


Figura 4 Schema dettagliato di determinazione cluster A tramite pendolo semplice

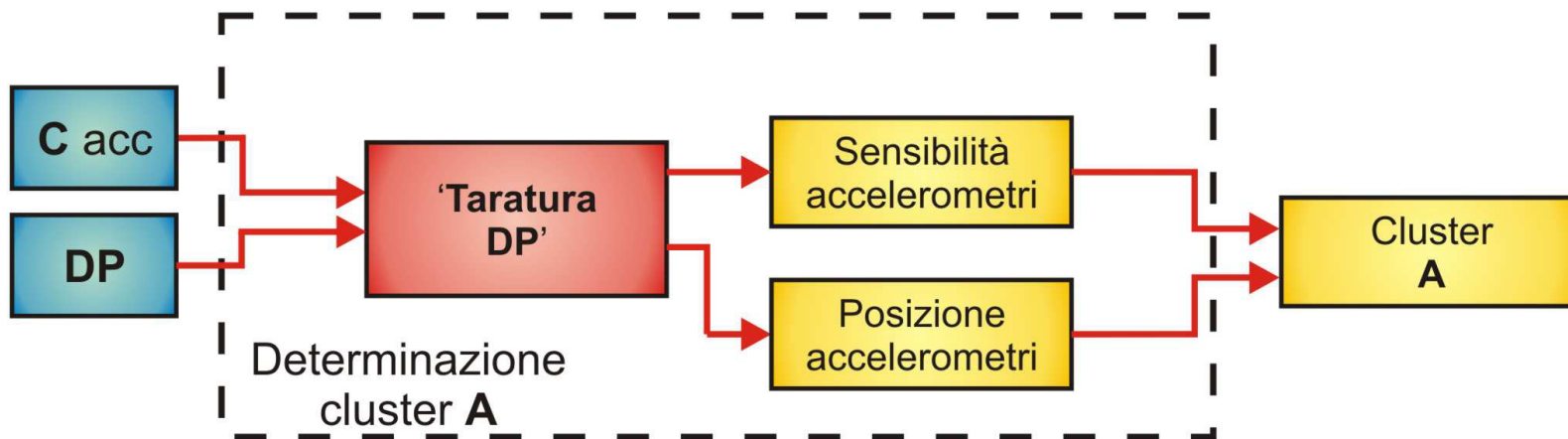


Figura 5 Schema dettagliato di determinazione cluster A tramite doppio pendolo

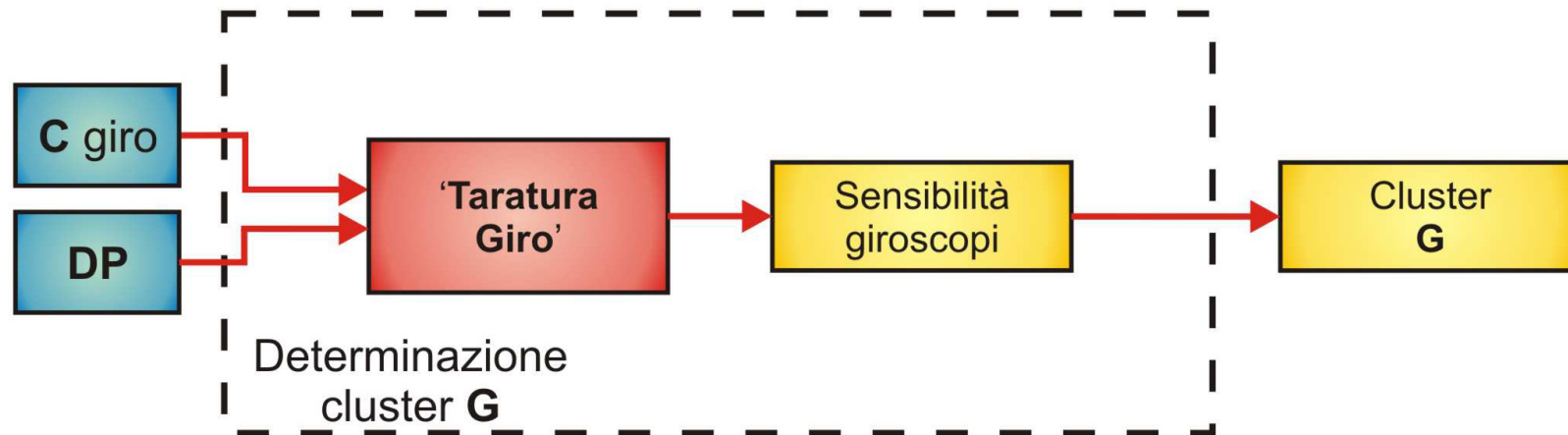


Figura 6 Schema dettagliato di determinazione cluster G tramite doppio pendolo

**SHCT**  
**Software Code Documentation Requirements**



## Stato del Documento

1. DOCUMENT TITLE: SHCT SCD			
2. Edizione	3. Revisione	4. Data	5. Motivi per variazioni
1	0	2007-05	

### Riassunto

Il presente programma SHCT ha come scopo la taratura e la verifica di un casco strumentato con accelerometri lineari e giroscopi. Gli output del casco sono le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0$ -g) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

### Indice

1	Descrizione del programma.....	3
1.1	Taratura SO.....	3
1.1.1	Descrizione Teorica .....	3
1.2	Taratura MP.....	4
1.2.1	Descrizione Teorica .....	4
1.3	Taratura DP.....	4
1.3.1	Descrizione Teorica .....	4
1.4	Taratura Giro .....	6
1.4.1	Descrizione Teorica .....	6
1.5	Salvataggio matrice sensibilità casco.....	7
1.5.1	Descrizione Teorica .....	7
1.6	Cinematica Casco .....	7
1.6.1	Descrizione Teorica .....	7
1.7	Confronto DP.....	9
1.7.1	Descrizione Teorica .....	9
1.8	Verifica Casco.....	9
1.8.1	Descrizione Teorica .....	9
1.9	Libreria funzioni.....	9
1.9.1	Puntoindic.m.....	9
1.9.2	Point2line.m .....	9
1.9.3	Hinv.m .....	9
1.9.4	Point2frame.m .....	10
1.9.5	Proiez.m.....	10
1.9.6	Deriv.m.....	10
1.9.7	Acc2p.m.....	10
1.9.8	Matcross.m.....	10
1.9.9	ACs2dw.m .....	10
1.9.10	SortK.m .....	10
1.9.11	SortAC2W.m.....	10
1.9.12	Gyro2w.m.....	10

## 1 Descrizione del programma

Nel presente documento vengono riportati gli script introdotti nel documento SHCT SSD. Ogni script viene prima illustrato da un punto di vista prettamente teorico e dopo viene fornito il codice sorgente opportunamente commentato. Al termine del documento si riportano le funzioni chiamate all'interno degli script e sviluppate dall'autore di SHCT.

### 1.1 Taratura SO

#### 1.1.1 Descrizione teorica

Tramite questo script si determina il cluster A contenente le sensibilità e le posizioni degli accelerometri posti sul casco utilizzando il sistema optoelettronico VICON. Di seguito viene riportata la procedura utilizzata per la taratura del casco tramite sistema optoelettronico.

Il casco viene posto su di una crocetta indicante il sistema di riferimento collegato al casco.

Tramite una bacchetta su cui sono vincolati due marker vengono manualmente indicati gli accelerometri posti sul casco.

In una seconda prova il casco viene fatto muovere lentamente nello spazio in modo che su ogni accelerometro agisca una componente variabile dell'accelerazione di gravità.

Per ogni asse sensibile degli accelerometri può essere scritto l'output come:

$$V = S(\mathbf{n}^T (\mathbf{a} - \mathbf{g})) + O \quad (1)$$

Tale equazione viene riscritta nel presente caso come:

$$V = S(\mathbf{n}^T \cdot {}^1\mathbf{R}_0 \cdot {}^0(-\mathbf{g})) + O \quad (2)$$

Dove  ${}^1\mathbf{R}_0$  rappresenta la matrice di rotazione che porta dal sistema di riferimento assoluto (0) al sistema di riferimento del casco (1). Noto che il vettore  $\mathbf{g}$  è diretto secondo l'asse z del sistema fisso ed ha valore che può essere approssimato a  $-9810 \text{ mm/s}^2$  si può scrivere:

$$V_{[1 \times N_f]} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}\mathbf{n}^T & O \end{bmatrix}_{[1 \times 4]} \cdot \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{R}_0 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\mathbf{g} \end{pmatrix} \\ 1 \end{bmatrix}_{[4 \times N_f]} \quad (3)$$

$N_f$  rappresenta il numero di frame acquisiti. Considerando tutti gli accelerometri si ottiene la matrice di taratura:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{S}\mathbf{N}^T & \mathbf{O} \end{bmatrix}_{[20 \times 4]} = \mathbf{V}_{[20 \times N_f]} \cdot \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{R}_0 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\mathbf{g} \end{pmatrix} \\ 1 \end{bmatrix} \right)_{[N_f \times 4]} \quad (4)$$

$\mathbf{S}\mathbf{N}^T$  sono i versori e le sensibilità degli assi degli accelerometri. La funzione pinv è la matrice pseudoinversa di  $[\mathbf{S}\mathbf{N}^T \ \mathbf{O}]$ . Tale funzione viene utilizzata quando non si può calcolare l'inversa di una matrice dato che, come in questo caso, la matrice in esame non è quadrata. La soluzione finale sarà quella che minimizza, tramite la procedura ai minimi quadrati (RMS), il sistema lineare presente nell'equazione (4). Note quindi le sensibilità e le posizioni degli accelerometri si può costruire il cluster A contenente:

- $A.S$  = Matrice delle sensibilità
- $A.Svers$  = Direzione degli assi sensibili
- $A.Smod$  = Modulo delle sensibilità

- $A.pacc1$  = Posizione degli accelerometri espresse nel sistema di riferimento del casco

## 1.2 Taratura MP

### 1.2.1 Descrizione teorica

Tramite questo script si determina il cluster A contenente le sensibilità e le posizioni degli accelerometri posti sul casco utilizzando il sistema a pendolo semplice (MO). Il casco viene montato sul pendolo in modo che può ruotare intorno ad un asse su cui è posto un encoder in grado di fornire l'angolo di rotazione. Vengono fornite al casco due rotazioni secondo assi perpendicolari. Per far questo dopo la prima rotazione il casco viene smontato dal pendolo e rimontato dopo averlo ruotato di 90°. Le posizioni vengono ottenute comunque tramite il precedente script 'Taratura SO'.

Per determinare la matrice di sensibilità e la direzione degli assi sensibili si procede in modo analogo all'utilizzo del sistema optoelettronico tenendo presente che, in questo caso, la componente inerziale del termine ( $\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}$ ) non è nulla. Per ogni accelerometro l'equazione 1.1.1(2) può essere scritta come:

$$\begin{bmatrix} S \mathbf{n}_i^T & O_i \end{bmatrix}_{[1 \times 4]} = V_i_{[1 \times N_f]} \cdot \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{R}_0 \cdot {}^0(\mathbf{a}_{\text{Acc}_i} - \mathbf{g}) \\ 1 \end{bmatrix} \right)_{[N_f \times 4]} \quad (5)$$

Con il termine  $\mathbf{a}_{\text{Acc}_i}$  si indica l'accelerazione agente sull'accelerometro  $i$ . Tale grandezza si calcola, nota la velocità e l'accelerazione angolare tramite singola e doppia derivazione dei dati dell'encoder, dall'equazione:

$$\mathbf{a}_p = \mathbf{a}_0 + \dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \quad (6)$$

Tramite encoder si determina anche la matrice di rotazione  ${}^1\mathbf{R}_0$ .

Dall'equazione (5) si ottiene  $SN^T$  rappresentante i versori e le sensibilità degli assi degli accelerometri. Note quindi le sensibilità e le posizioni degli accelerometri si può costruire il cluster A contenente:

- $A.S$  = Matrice delle sensibilità
- $A.Svers$  = Direzione degli assi sensibili
- $A.Smod$  = Modulo delle sensibilità
- $A.pacc1$  = Posizione degli accelerometri espresse nel sistema di riferimento del casco

## 1.3 Taratura DP

### 1.3.1 Descrizione teorica

Tramite questo script si determinano le posizioni, i versori e la sensibilità di ogni asse accelerometrico. Il casco viene posto su un doppio pendolo il quale impone due rotazioni contemporanee secondo due assi mutuamente perpendicolari su cui sono montati due encoder. Per tarare il dispositivo si conduce dapprima una prova statica ponendo il casco in differenti assetti ed utilizzando come input il vettore gravità. L'equazione risolutiva è la 1.1.1(4) ma, al contrario dello script precedente, la matrice di rotazione viene calcolata dagli angoli forniti dai due encoder.

Per determinare le posizioni degli accelerometri bisogna invece effettuare una prova dinamica. L'equazione 1.2.1(6) viene riscritta come:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \quad (7)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{F}(\dot{\boldsymbol{\omega}})\mathbf{r} + \mathbf{F}(\boldsymbol{\omega})^2 \mathbf{r} \quad (8)$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{W}\mathbf{r} \quad (9)$$

dove:

$$\mathbf{F}(\mathbf{m}) = \begin{bmatrix} 0 & -m_z & m_y \\ m_z & 0 & m_x \\ -m_y & m_x & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}(\dot{\boldsymbol{\omega}}, \boldsymbol{\omega}) = \mathbf{F}(\dot{\boldsymbol{\omega}}) + \mathbf{F}(\boldsymbol{\omega})^2 \quad (11)$$

Dalle equazioni (1) e (9) si ottiene:

$$V = S(\mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g} + \mathbf{W}\mathbf{r})) + O \quad (12)$$

$$V - S\mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}) = S\mathbf{n}^T \mathbf{W}\mathbf{r} + O \quad (13)$$

$$V - S\mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}) = \begin{bmatrix} S\mathbf{n}^T \mathbf{W} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r} \\ O \end{bmatrix} \quad (14)$$

La posizione del singolo accelerometro risulta essere:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r} \\ O \end{bmatrix} = \text{pinv}\left(\begin{bmatrix} S\mathbf{n}^T \mathbf{W} & 1 \end{bmatrix}\right)(V - S\mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g})) \quad (15)$$

Dopo aver calcolato le posizioni e le sensibilità di ogni accelerometro si costruisce il cluster A contenente:

- $A.S$  = Matrice delle sensibilità
- $A.Svers$  = Direzione degli assi sensibili
- $A.Smod$  = Modulo delle sensibilità
- $A.paccl$  = Posizione degli accelerometri espresse nel sistema di riferimento del casco

## 1.4 Taratura Giro

### 1.4.1 Descrizione teorica

Per tarare i giroscopi bisogna imporre al casco una velocità angolare variabile sia in modulo che in verso. Per far questo si utilizza il sistema a doppio pendolo precedentemente introdotto. L'output di un giroscopio può essere scritto come:

$$V = S(\mathbf{n}^T \boldsymbol{\omega}) + O \quad (16)$$

Dove:

$V$  è l'output in volt;

$S$  è il modulo della sensibilità di ogni giroscopio;

$\mathbf{n}^T$  è la direzione dell'asse sensibile;

$O$  è l'offset elettrico.

$$V_{[1 \times N_f]} = \begin{bmatrix} S\mathbf{n}^T & O \end{bmatrix}_{[1 \times 4]} \cdot \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{R}_0 \cdot {}^0\boldsymbol{\omega} \\ 1 \end{bmatrix}_{[4 \times N_f]} \quad (17)$$

Dove  ${}^1\mathbf{R}_0$  rappresenta la matrice di rotazione che porta dal sistema di riferimento assoluto (0) al sistema di riferimento del casco (1). La velocità angolare viene calcolata dalla derivazione dei dati degli encoder collegati al sistema a doppio pendolo.  $N_f$  rappresenta il numero di frame acquisiti. Considerando tutti i giroscopi si ottiene la matrice di taratura:

$$\begin{bmatrix} S\mathbf{N}^T & \mathbf{O} \end{bmatrix}_{[20 \times 4]} = \mathbf{V}_{[20 \times N_f]} \cdot \text{pinv} \left( \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{R}_0 \cdot {}^0\boldsymbol{\omega} \\ 1 \end{bmatrix} \right)_{[N_f \times 4]} \quad (18)$$

Dall'equazione (18) si può ricavare la matrice rappresentante i versori degli assi sensibili e le sensibilità in modo da poter costruire il cluster G contenente:

- $G.S$  = Matrice delle sensibilità
- $G.Svers$  = Direzione degli assi sensibili
- $G.Smod$  = Modulo delle sensibilità

## 1.5 Salvataggio matrice sensibilità casco

### 1.5.1 Descrizione teorica

Lo script in esame carica i cluster **A** e **G** calcolati precedentemente e li salva in un unico file con il nome di ‘cluster casco’.

## 1.6 Cinematica casco

### 1.6.1 Descrizione teorica

Il presente script si occupa di caricare inizialmente la prova in esame ossia i dati degli accelerometri e dei giroscopi acquisiti oltre al ‘cluster casco’ contenente le matrici di sensibilità dei sensori inerziali utilizzati. In uscita il programma fornisce:

- accelerazione angolare della testa
- accelerazione lineare ( $\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}$ ) dell’origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare della testa

Tutte le precedenti grandezze sono espresse nel sistema di riferimento casco.

Le accelerazioni angolari e lineari si determinano dagli accelerometri. L’equazione 1.3.1(13) diventa:

$$\frac{V - O}{S} = \mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}) + \mathbf{n}^T \mathbf{W} \mathbf{r} \quad (19)$$

L’ultimo termine si può riscrivere come:

$$\mathbf{n}^T \mathbf{W} \mathbf{r} = \sum_{l,m} n_l r_m w_{lm} = \sum_{l,m} k_{lm} \cdot w_{lm} = (\mathbf{k}^*)^T \mathbf{w}^* \quad (20)$$

Dove:

$$\mathbf{k} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{r}^T = \begin{bmatrix} n_1 r_1 & n_1 r_2 & n_1 r_3 \\ n_2 r_1 & n_2 r_2 & n_2 r_3 \\ n_3 r_1 & n_3 r_2 & n_3 r_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\mathbf{k}^* = [k_{11} \quad k_{12} \quad k_{13} \quad k_{21} \quad k_{22} \quad k_{23} \quad k_{31} \quad k_{32} \quad k_{33}]$$

$$\mathbf{w}^* = [w_{11} \quad w_{12} \quad w_{13} \quad w_{21} \quad w_{22} \quad w_{23} \quad w_{31} \quad w_{32} \quad w_{33}]$$

Si può quindi riscrivere l’equazione (19) in una forma più compatta:

$$\frac{V - O}{S} = \mathbf{n}^T (\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}) + (\mathbf{k}^*)^T \mathbf{w}^* \quad (22)$$

Si considerano ora tutti gli assi sensibili di ogni accelerometro, in questo caso venti, e si introducono le seguenti matrici:

$$\mathbf{R} = [\mathbf{r}_1 \quad \dots \quad \mathbf{r}_i \quad \dots \quad \mathbf{r}_n], \quad \text{Matrice posizione degli accelerometri [3x20];}$$

$$\mathbf{N} = [\mathbf{n}_1 \quad \dots \quad \mathbf{n}_i \quad \dots \quad \mathbf{n}_n], \quad \text{Matrice versori degli assi sensibili [3x20];}$$

$$\mathbf{O} = [O_1 \quad \dots \quad O_i \quad \dots \quad O_n]^T \quad \text{Matrice degli offset [20x1];}$$

:

$$\mathbf{V} = [V_1 \quad \dots \quad V_i \quad \dots \quad V_n]^T \quad \text{Matrice degli output [20x1];}$$

:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & S_n \end{pmatrix}; \quad \text{Matrice diagonale della sensibilità [20x20];}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_1^* \\ \vdots \\ \mathbf{k}_i^* \\ \vdots \\ \mathbf{k}_n^* \end{bmatrix}; \quad \text{Matrice rotazionale [20X9];}$$

$$\mathbf{M} = [\mathbf{K} \quad \mathbf{N}^T]; \quad \text{Matrice di sensibilità globale;}$$

L'equazione (22), scritta per tutti gli accelerometri diviene:

$$\mathbf{S}^{-1}(\mathbf{V} - \mathbf{O}) = \mathbf{N}^T(\mathbf{a}_0 - \mathbf{g}) + \mathbf{K} \cdot \mathbf{w}^* \quad i = 1 \dots n \quad (23)$$

Ossia:

$$\mathbf{V} = \mathbf{S}[\mathbf{K} \quad \mathbf{N}^T] \begin{bmatrix} \mathbf{w}^* \\ \mathbf{a}_0 - \mathbf{g} \end{bmatrix} + \mathbf{O} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{M} \begin{bmatrix} \mathbf{w}^* \\ \mathbf{a}_0 - \mathbf{g} \end{bmatrix} + \mathbf{O} \quad (24)$$

Per ricavare le accelerazioni angolari si risolve la precedente equazione:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{w}^* \\ \mathbf{a}_0 - \mathbf{g} \end{bmatrix} = \text{pinv}(\mathbf{M}) \cdot \mathbf{S}^{-1}(\mathbf{V} - \mathbf{O}) \quad (25)$$

La funzione pinv è la matrice pseudoinversa di  $\mathbf{M}$ . In questo modo si possono calcolare i termini della matrice  $\mathbf{W}$  e risalire all'accelerazione angolare tramite:

$$\hat{\boldsymbol{\omega}} = \text{axialvect}(\mathbf{W}) \quad (26)$$

La matrice degli offset  $\mathbf{O}$  si calcola in una prova statica tenendo il casco per qualche istante fermo su di una superficie perpendicolare al vettore gravità e acquisendo gli output degli accelerometri:

$$\mathbf{O} = \mathbf{V}_S - \hat{\mathbf{V}}_S$$

$$\hat{\mathbf{V}}_S = \mathbf{S} \cdot \mathbf{M} \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\mathbf{g} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Per la velocità angolare invece si utilizzano i giroscopi. Dall'equazione 1.4.1(16) e riscritta carabinieri

$$\boldsymbol{\omega}_{[3 \times Nf]} = \text{inv}(\mathbf{S}\mathbf{N}^T)_{[3 \times 3]} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{O})_{[3 \times Nf]} \quad (28)$$

La matrice degli offset  $\mathbf{O}$  si calcola in una prova statica tenendo il casco per qualche istante fermo e acquisendo gli output dei giroscopi:

$$\mathbf{O} = \mathbf{V}_s \quad (29)$$

Nel file in output ‘nome prova casco.mat’ viene salvato un file *Matlab*® in cui sono riportate le tre grandezze cinematiche precedentemente calcolate.

## 1.7 Confronto DP

### 1.7.1 Descrizione teorica

Vengono caricati i dati acquisiti dai due encoder presenti sul sistema doppio pendolo. Da questi si determinano le accelerazioni lineari ed angolari e la velocità angolare del casco presente sul DP. L’output dello script è rappresentato dal file ‘nome prova enc.mat’ contenente le grandezze cinematiche succitate.

## 1.8 Verifica Casco

### 1.8.1 Descrizione teorica

Vengono caricati i file ottenuti dagli script 1.6 e 1.6.1 rappresentanti tre grandezze cinematiche in esame calcolate tramite il casco e gli encoder collegati al sistema a doppio pendolo. Come parametro di verifica si calcola il RMSE tra le varie grandezze secondo le formule:

$$\mathcal{E}_{|\dot{\omega}|} = \sqrt{\frac{\sum (|\dot{\omega}_c| - |\dot{\omega}_e|)^2}{N_f}} \quad (30)$$

$$\mathcal{E}_{|(\mathbf{a}_0 - \mathbf{g})|} = \sqrt{\frac{\sum (|(\mathbf{a}_0 - \mathbf{g})_c| - |(\mathbf{a}_0 - \mathbf{g})_e|)^2}{N_f}} \quad (31)$$

$$\mathcal{E}_{|\omega|} = \sqrt{\frac{\sum (|\omega_c| - |\omega_e|)^2}{N_f}} \quad (32)$$

Dove  $N_f$  rappresenta il numero di frame della prova in esame. L’output viene salvato sul file ‘nome prova RMSE.mat’.

## 1.9 Libreria funzioni

### 1.9.1 Puntoindic.m

Funzione che riporta il punto terminale della bacchetta utilizzata per indicare gli accelerometri posti sul casco note le posizioni dei due marker appartenenti alla bacchetta e la distanza tra l’ultimo e il punto terminale (di).

### 1.9.2 Point2line.m

Funziona che determina la proiezione di un punto  $p$  su di una retta passante per i punti  $a$  e  $b$

### 1.9.3 Hinv.m

Funziona utilizzata per invertire la matrice di rototraslazione  $H$  secondo la relazione:

$${}^1H_0 = Hinv({}^0H_1) = \begin{bmatrix} {}^0R_1^T & -{}^0R_1^T {}^0o_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$



#### **1.9.4 Point2frame.m**

Calcola la matrice di rototraslazione utilizzando la stima ottima. Gli input sono le posizioni di un cluster di marker espressi nel sistema di riferimento 1 e 0.

#### **1.9.5 Proiez.m**

Funzione per proiettare un vettore posizione da un sistema 0 al sistema 1.

#### **1.9.6 Deriv.m**

Funzione che ha in uscita la derivata del vettore p. Questa viene inoltre filtrata tramite filtro Butterworth con frequenza di taglio e ordine scelti dall'utente.

#### **1.9.7 Acc2p.m**

Determina la posizione degli accelerometri utilizzando l'equazione 1.3.1(15).

#### **1.9.8 Matcross.m**

Funzione che dà in output la matrice avente forma riportata nell'equazione (10).

#### **1.9.9 ACs2dw.m**

Fornisce l'accelerazione angolare e lineare dai dati dei sensori inerziali posti sul casco tramite l'equazione 1.6.1(25).

#### **1.9.10 SortK.m**

Funzione necessaria per riordinare la matrice della sensibilità globale in modo da poter utilizzare l'equazione 1.6.1(25).

#### **1.9.11 SortAC2W.m**

Funzione che riordina l'accelerazione angolare e la velocità angolare nella matrice W in modo da poter utilizzare l'equazione 1.6.1(25).

#### **1.9.12 Gyro2w.m**

Funzione per la determinazione della velocità angolare noti gli output dei giroscopi posti sul casco secondo l'equazione 1.4.1(16).

**SHCT**  
**Software User Manual**

## Stato del Documento

1. DOCUMENT TITLE: <b>SHCT SUM</b>			
2. Edizione	3. Revisione	4. Data	5. Motivi per variazioni
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2007-05</b>	

## Riassunto

Il presente programma SHCT ha come scopo la taratura e la verifica di un casco strumentato con accelerometri lineari e giroscopi. Gli output del casco sono le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0$ -g) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Lettoce destinatario</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Licenza software</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Obiettivo del documento</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Come usare il documento</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5</b>	<b>Documenti correlati</b> .....	<b>3</b>
<b>1.6</b>	<b>Convenzioni</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Riassunto</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Installazione</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Istruzioni</b> .....	<b>4</b>

## 1 Introduzione

### 1.1 Lettore destinatario

Il presente documento è indirizzato all'utente finale del programma SHCT. Tale software può essere utilizzato unicamente da un utente interessato all'analisi dati di prove già effettuate o anche, in presenza di un casco strumentato con i relativi strumenti di taratura, da un utente che debba tarare il dispositivo. In tal caso l'utente dovrà acquisire le prove con altro programma.

### 1.2 Licenza software

Il software SHCT non è munito di licenza essendo un programma *freeware*. Unico impedimento al funzionamento è la necessaria presenza sul compilatore assegnato del software *Matlab*®.

### 1.3 Obiettivo del documento

L'Obiettivo del documento è quello di fornire all'utente finale le competenze per installare e compilare SHCT.

### 1.4 Come usare il documento

Il presente documento serve a poter utilizzare al meglio il software SHCT. Viene data per acquisita una minima conoscenza di programmazione in ambiente *Matlab*®.

### 1.5 Documenti correlati

I documenti correlati al documento sono:

SHCT URD  
SHCT SSD  
SHCT SCD  
SHCT SVVP

### 1.6 Convenzioni

- **SHCT**: Software Helmet Calibration and Testing
- **URD**: User Requirements Document
- **SSD**: Software Specification Document
- **SCDR**: Software Code Documentation Requirements
- **SVVP**: Software Verification and Validation Plan
- **( $a_0-g$ )**: accelerazione lineare dell'origine del casco sottratta dell'accelerazione di gravità
- **MP**: sistema di taratura a pendolo semplice
- **DP**: sistema di taratura a doppio pendolo
- **SO**: Sistema Optoelettronico
- **K**: Matrice di sensibilità globale
- **RMSE**: Root Mean Squae Error

## 2 Riassunto

Il presente documento serve per fornire all'utente le istruzioni necessarie per una corretta installazione del software e per far funzionare SHCT nel modo corretto. Nella prima parte sono riportate le indicazioni di installazione mentre nella seconda sono presenti le istruzioni da correlare con i documenti SHCT SSD e SHCT SCDR.

## 3 Installazione

Il programma non richiede alcuna installazione specifica. Per il corretto funzionamento basta, nel programma *Matlab*, andare sotto *File, Set Path* e spingere *Add with Subfolders* indicando il percorso dove è presente la cartella contenente gli script, le funzioni implementate e i dati da analizzare.

## 4 Istruzioni

Dopo aver seguito le istruzioni presenti nel punto precedente bisogna aprire lo script che si vuole compilare. Lo script va eseguito avendo cura di sostituire alla riga indicante il nome del file:

```
prova='nome prova';
```

il nome reale della prova da analizzare. Se ad esempio il nome della prova è 'Taratura1' basta scrivere:

```
prova='Taratura1';
```

Si ricorda che alcuni script necessitano prima l'esecuzione di altri. Per informazioni più dettagliate circa l'ordine di esecuzione degli script e la loro funzionalità si rimanda ai documenti SHCT SSD e SHCT SCDR.

Il software non richiede ulteriori interventi se non quelli sopra specificati. I programmi terminano con il salvataggio delle variabili output dello script eseguito nella cartella indicata.

Le variabili in uscita hanno le seguenti unità di misura:

- **A.Pacc1**: mm
- **A.Svers**:
- **A.Smod**: V/(mm/s<sup>2</sup>)
- **G.Svers**:
- **G.Smod**: V/(rad/s)
- **(a<sub>0</sub>-g)**: mm/s<sup>2</sup>
- **ω**: (rad/s)
- **ω̇**: (rad/s<sup>2</sup>)

**SHCT**  
**Software Verification and Validation Plane**

## Stato del Documento

1. DOCUMENT TITLE: SHCT SVVP			
2. Edizione	3. Revisione	4. Data	5. Motivi per variazioni
1	0	2007-05	

## Riassunto

Il presente programma SHCT ha come scopo la taratura e la verifica di un casco strumentato con accelerometri lineari e giroscopi. Gli output del casco sono le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0-g$ ) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

Il presente documento serve a riportare il piano test sviluppato affinché il software risulti essere funzionante.

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Obiettivo del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Definizioni, acronimi e abbreviazioni .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Riassunto del documento .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Piano dei Test.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Controllo sistema .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Sistema Optoelettronico SO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Sistema a pendolo semplice MP .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Sistema a doppio pendolo DP .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Controllo SHCT .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Taratura SO, Taratura MP, Taratura DP .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Taratura Giro .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Cinematica Casco .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Esito dei Test.....</b>	<b>5</b>

## 1 Introduzione

Nel presente documento vengono riportati i piani test sviluppati affinché il software SHCT risulti essere funzionante.

### 1.1 Obiettivo del documento

Il presente documento serve per riportare i test utilizzati per verificare il software SHCT.

### 1.2 Definizioni, acronimi e abbreviazioni

- **SHCT**: Software Helmet Calibration and Testing
- **URD**: User Requirements Document
- **SSD**: Software Specification Document
- **( $a_0-g$ )**: accelerazione lineare dell'origine del casco sottratta dell'accelerazione di gravità
- **MP**: sistema di taratura a pendolo semplice
- **DP**: sistema di taratura a doppio pendolo
- **SO**: Sistema Optoelettronico
- **K**: Matrice di sensibilità globale
- **RMSE**: Root Mean Squae Error

### 1.3 Riassunto del documento

Il presente documento è suddiviso in due parti. Nella prima si riportano i controlli da effettuare sul banco di taratura e sulla strumentazione utilizzata, mentre nella seconda parte vengono riportati i test sviluppati affinché il software SHCT risulti essere affidabile.

## 2 Piano dei Test

Affinché il software sia funzionale devono essere effettuati due differenti tipologie di controlli:

**Controllo sistema**: Controllo sulla strumentazione utilizzata

**Controllo SHCT**: Controllo sul software

### 2.1 Controllo sistema

Nel caso l'utilizzatore di SHCT sia in possesso dei sistemi precedentemente introdotti quali SO, MP e DP e debba effettuare la taratura del casco strumentato devono essere effettuati, prima di passare all'analisi dati ossia all'utilizzo di SHCT, una serie di controlli sul hardware. In breve saranno descritti tali controlli per ogni sistema impiegato.

#### 2.1.1 Sistema Optoelettronico SO

La descrizione delle precauzioni da prendere prima dell'utilizzo del sistema optoelettronico VICON sono riportate nel *datasheet* dell'hardware e del software. Particolare attenzione va posta alla fase di calibrazione del dispositivo necessaria per delimitare il volume di lavoro in cui le posizioni dei marker vengono determinate con un'accuratezza dell'ordine di 1 mm. Durante la fase di acquisizione della prova bisogna oltremodo avere attenzione nel corretto posizionamento dei marker sul casco. In questo caso ne vanno posti quattro nei punti indicati da una 'X' sul dispositivo di misura sviluppato. L'errata posizione determina un errore nella stima dell'orientamento e della posizione del sistema di riferimento casco.

#### 2.1.2 Sistema a pendolo semplice MP

Punti fondamentali sono:

- Corretto ancoraggio del casco all'asse del pendolo. Affinché questo si verifichi è stato progettato *ad hoc* un sistema di afferraggio tra pendolo e casco che non determini un



angolo tra asse di rotazione del pendolo ed asse del sistema di riferimento del casco maggiore di  $1^\circ$ .

- L'encoder deve essere bloccato all'asse di rotazione in modo che non subisca sia delle relazioni relative che dei disallineamenti che andrebbero ad inficiare la misura di rotazione angolare fatta con tale sensore. Affinché questo avvenga è stato utilizzato un giunto elastico di precisione. Vanno controllate prima di iniziare la prova le viti atte a stringere il suddetto giunto.

### 2.1.3 Sistema a doppio pendolo DP

Valgono gli analoghi controlli fatti per il sistema MP. Inoltre, poiché è presente nella parte superiore del DP un pattino che permette di porre il centro del sistema casco non sull'asse verticale di rotazione, bisogna misurare quanto risulta essere tale distanza.

Tutti i test di corretto funzionamento dei sistemi succitati devono essere effettuati prima dell'utilizzo dell'hardware in esame. Tali controlli sono stati fatti prima di procedere ad ogni prova acquisita dallo sviluppatore di SHCT.

## 2.2 Controllo SHCT

Sono stati sviluppati test di verifica differenti per ogni script utilizzato. Vengono riportati i principali test per ogni script presentato nel documento SHCT SCD.

### 2.2.1 Taratura SO, Taratura MP, Taratura DP

Nei presenti script vengono determinate le posizioni e le sensibilità degli accelerometri sul casco.

Per testare le posizioni si è costruito un vettore contenente le tre coordinate di due punti fittizi. Si è determinata la posizione del punto indicato tramite funzione *puntoindic.m*. Tale punto risulta essere coincidente con quello teorico. Nel caso del DP è stata fissata una posizione virtuale di un accelerometro. Si è poi imposto uno spostamento simulato calcolandone le grandezze cinematiche correlate in modo da determinare l'output di un ipotetico accelerometro posto in tale posizione. Si è testata quindi la funzione *accs2p.m* verificando la posizione calcolata con quella iniziale.

Per le sensibilità è stata simulata l'uscita di un accelerometro posto in differenti assetti nel campo gravitazionale. Note le tensioni e l'assetto si è determinato tramite il presente script la sensibilità dell'accelerometro in esame. Tale grandezza è risultata essere la stessa imposta nella simulazione. Il test è stato ripetuto per differenti assetti.

Tutti i suddetti test hanno dato esito positivo.

### 2.2.2 Taratura Giro

Per testare il presente script è stata utilizzata una metodologia analoga ai casi precedenti ove però l'input simulato risulta essere una velocità angolare.

Il test ha dato esito positivo.

### 2.2.3 Cinematica Casco

Obiettivo di questo script è quello di determinare dai dati dei sensori inerziali le seguenti grandezze cinematiche:

- accelerazione angolare
- accelerazione lineare ( $a_0-g$ ) dell'origine del sistema di riferimento del casco
- velocità angolare

Si è simulato il casco posto sul doppio pendolo ipotizzando una serie di movimenti:

- il casco ruota su un solo asse con rotazione sinusoidale di ampiezza e frequenza variabile entro il campo di misura in esame; Il secondo asse risulta essere fermo.
- il casco ruota contemporaneamente sui due assi con rotazione sinusoidale di ampiezza e frequenza uguale per le due rotazioni;

- il casco ruota contemporaneamente sui due assi con rotazione sinusoidale di ampiezza e frequenza differente per le due rotazioni;

Per tutti i movimenti vengono calcolate le grandezze cinematiche succitate. Nota la matrice di sensibilità sia degli accelerometri che dei giroscopi si possono calcolare gli output dei sensori V-O (V è la tensione mentre O sono gli offset). Nota questa si verificano le funzioni *ACs2dw.m* e *Gyro2w.m* andando a confrontare gli output di queste con le variabili cinematiche simulate. Tutti i suddetti test hanno dato esito positivo.

### **3 Esito dei Test**

Tutti i test prodotti hanno dato esito positivo pertanto si considera il software SHCT in grado di determinare la cinematica del casco all'interno del campo di misura in esame. Particolare attenzione va comunque posta, come riportato nel paragrafo 1.1, a come viene preparato il banco di taratura prima di effettuare la singola prova.