

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

Scuola di Scienze
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

SVILUPPO DI UN SISTEMA
INFORMATICO PER IL CONTROLLO
REMOTO DI UN OSSERVATORIO
ASTRONOMICO

Relazione finale in
PROGRAMMAZIONE DI SISTEMI EMBEDDED

Relatore
Prof. ALESSANDRO RICCI

Presentata da
DAVIDE PIERETTI

Terza Sessione di Laurea
Anno Accademico 2014 – 2015

PAROLE CHIAVE

Sistemi Embedded

Internet of Things

Astronomical Observatory

Remote Control

Disclosure Astronomical

”Se le stelle, anziché brillare continuamente sul nostro capo, non si potessero vedere che da un solo punto della Terra, gli umani non cesserebbero dal recarvisi per contemplare le meraviglie dei Cieli” (Seneca)’

Indice

Introduzione	ix
1 Il progetto "RoboTelescope"	1
1.1 L'osservazione del Cielo	1
1.1.1 L'osservazione del cielo ad occhio nudo	1
1.1.2 Strumenti di osservazione del cielo	2
1.2 Osservatorio Astronomico	4
1.2.1 Il primo osservatorio astronomico italiano	5
1.2.2 Diffusione degli osservatori astronomici in Italia	5
1.2.3 Esempi di osservatori	6
1.2.4 Stato dell'arte della tecnologia	8
1.3 Il Progetto	9
1.3.1 Il target	10
1.3.2 Gli obiettivi	10
1.3.3 La visione d'insieme	11
2 Analisi dei requisiti	13
2.1 Descrizione generale	13
2.2 Analisi di fattibilità	14
2.2.1 Analisi tecnica	15
2.2.2 Costi e benefici	15
2.3 Dominio Applicativo	15
2.4 Casi d'uso	18
2.5 Requisiti	19
2.5.1 Prerequisiti	19
2.5.2 Requisiti funzionali	20
2.5.3 Requisiti non funzionali	20
3 Progettazione	23
3.1 Architettura	23
3.1.1 Modello a scambio di messaggi	25
3.1.2 Interfacce e astrazione	25

3.2	Modulo Osservatorio	26
3.2.1	Modulo Cupola	27
3.2.2	Modulo Telescopio	31
3.2.3	Modulo Dispositivo di cattura	31
3.3	Modulo Server	32
3.3.1	Modalità desktop remoto	34
3.4	Modulo Client	34
4	Sviluppo	37
4.1	Tecnologie Utilizzate	37
4.1.1	Arduino	37
4.1.2	Sensori e attuatori	37
4.1.3	Driver ASCOM	39
4.1.4	Linguaggi utilizzati	39
4.2	Implementazioni	40
4.2.1	Esempio di implementazione del modulo cupola	40
4.2.2	Prototipo di client in ambiente mobile	43
5	Testing	45
5.1	Modulo Osservatorio	45
5.1.1	Cupola	45
5.1.2	Telescopio	47
5.1.3	Dispositivo di cattura delle immagini	48
5.2	Collaudo di sistema	48
	Conclusioni	49
	Ringraziamenti	51
	Bibliografia	53

Introduzione

L'obiettivo di questo elaborato è quello di indicare una via verso una nuova modalità di utilizzo degli osservatori astronomici disseminati lungo la penisola italiana. Utilizzando le tecnologie disponibili e integrandole fra loro il sistema che si andrà a progettare permetterà di controllare da remoto un osservatorio astronomico. Questa nuova modalità di interazione con strumenti scientifici quali i telescopi potrà rendere possibile nuove modalità di divulgazione astronomica, sia in ambito educativo fornendo nuovi strumenti alle scuole che in ambito culturale potendo avvicinare tutti i curiosi all'osservazione dei corpi celesti che circondano il pianeta Terra.

L'idea nasce da una collaborazione dell'autore della tesi con un museo della scienza "Museo del Bali" il quale dispone al suo interno un osservatorio astronomico; le intuizioni del personale del museo e i primi esperimenti pratici gettano le basi per il presente elaborato.

Il grande sogno, descritto solo in parte all'interno dell'elaborato, è quello di creare un unico portale di accesso a quanti più osservatori possibili nel mondo: immaginate di poter osservare in tempo reale il cielo notturno attraverso un osservatorio collocato dall'altra parte del mondo: questa è la forza di Internet, il virtuale azzeramento delle distanze e un immenso spazio di possibilità.

Il primo capitolo descrive le ragioni e le modalità di osservazione del cielo, il ruolo e la situazione degli osservatori astronomici italiani e come il progetto può collocarsi all'interno delle realtà già esistenti. Nel secondo capitolo scende nel dettaglio del progetto descrivendone le caratteristiche generali e i requisiti di cui necessita. Il terzo capitolo descrive l'architettura generale del sistema, come sono fatte e come comunicano fra loro le varie parti di cui esso è composto e quali sono le modalità di controllo. Nel quarto capitolo si analizzano le tecnologie disponibili ed utilizzabili per il progetto, come sono state implementate alcune parti del sistema e come potranno essere implementate le parti non ancora sviluppate. Il quinto capitolo è dedicato alla verifica del funziona-

mento del sistema: prima elencando i test specifici per le singole parti e poi descrivendo il collaudo generale.

Utilizzare la tecnologia per avvicinare le persone alla scienza è una grande sfida per il futuro: le nuove scoperte e le nuove invenzioni non sono ormai più frutto di singole menti brillanti ma frutto di collaborazioni e figlie della "sapienza collettiva" che Internet sta fortificando e rendendo sempre più fruibile.

Capitolo 1

Il progetto "RoboTelescope"

1.1 L'osservazione del Cielo

Ognuno di noi si è soffermato almeno una volta nella vita a contemplare il cielo osservando il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle risplendere sopra le nostre teste. L'osservazione del cielo ha catturato la curiosità dell'uomo fin dall'antichità; infatti per rendere familiare questa miriade di corpi celesti, varie civiltà hanno inventato storie, miti e leggende che aiutassero a spiegare e ad orientarsi in quella moltitudine: sono nate così le costellazioni e buona parte di tutta la mitologia antica è legata indissolubilmente alle stelle, ai pianeti e ai loro movimenti. Le stelle sono state anche fonte di studio e conoscenza come dimostrano i calendari ricavati dai movimenti lunari ai tempi degli antichi Egizi e dei Babilonesi. I grandi progressi in campo astronomico arrivano però con Niccolò Copernico, Galileo Galilei e Giovanni Keplero che nel XVI e XVII secolo scoprono e provano a dimostrare scientificamente le leggi che regolano i moti dei pianeti e l'eliocentrismo, quando le teorie erano tutte geocentriche, del nostro sistema solare. Il progredire della tecnologia ha fatto sì che strumenti sempre più avanzati aiutassero l'uomo a osservare, studiare e capire meglio ciò che nell'Universo ci circonda.

1.1.1 L'osservazione del cielo ad occhio nudo

Per migliaia di anni l'osservazione del cielo è stata semplice, ad occhio nudo, senza l'utilizzo di strumenti appositi. Ad occhio nudo si possono osservare circa 6000 stelle e una decina di altri corpi celesti: mai si sarebbe pensato che potessero esistere altre stelle, altre galassie, altri corpi celesti oltre a quelli visibili. Il cannocchiale galileiano e tutte le evoluzioni del telescopio fino ai nostri giorni ci hanno invece mostrato che ciò che risulta visibile in cielo ad occhio nudo non è che un infinitesima parte dell'universo; questo potrebbe non

essere addirittura abbastanza perché esistono teorie che affermano l'esistenza di altri universi esterni a quello in cui ci troviamo.

Gli unici corpi celesti visibili ad occhio nudo sono:

- **Sole**

Il Sole è una stella medio-piccola di età stimata in 4,57 miliardi di anni appartenente alla galassia a spirale "Via Lattea" e collocato in un braccio galattico secondario di questa.

- **Luna**

La Luna ruota attorno alla terra ed è l'unico satellite naturale di questa, è visibile dalla terra sia durante il dì che durante la notte.

- **Pianeti**

I pianeti visibili ad occhio nudo sono Marte, Mercurio, Giove, Venere e Saturno.

- **Stelle**

Le stelle sono corpi della stessa natura del Sole ma distanti dalla terra anni luce ¹(la più vicina escluso il Sole è Proxima Centauri e dista dalla Terra 4,2 anni luce).

- **Comete** Le comete sono piccoli corpi paragonabili ad asteroidi, ma formati da ghiaccio che sublimano in prossimità del sole e creano l'effetto della *coda* della cometa osservabile dalla terra.

- **Galassie** Le galassie visibili ad occhio nudo oltre alla Via Lattea (della quale facciamo parte) sono tre: la Piccola Nube di Magellano, la Grande Nube di Magellano e la galassia di Andromeda. Le prime due sono visibili dall'emisfero australe e sono relativamente vicine, circa 150 e 200 mila anni luce. La galassia di Andromeda è visibile dall'emisfero boreale in corrispondenza della costellazione di Andromeda ed è l'oggetto più lontano osservabile ad occhio nudo: dista circa 2.5 milioni di anni luce; nonostante ci appaia come una macchiolina luminosa la sua dimensione è stimata in 250000 anni luce di diametro; è una galassia a spirale esattamente come la nostra Via Lattea.

1.1.2 Strumenti di osservazione del cielo

L'Astronomia è una scienza puramente osservativa, si basa cioè su ciò che è possibile osservare e di conseguenza studiare. Per questo motivo gli strumenti

¹Un anno luce è un'unità di misura della lunghezza, definita come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un anno.

e le tecnologie disponibili per l'osservazione sono estremamente importanti. Il primo strumento di osservazione del cielo fu il Cannocchiale che venne inventato nel 1608. Galileo Galilei, un italiano, venne a conoscenza di questa scoperta e si mise subito al lavoro per migliorarla e perfezionarla. Grazie alle lenti che fece realizzare dagli artigiani di Venezia nel 1609 offriva al Doge questo strumento per scopi bellici della *Serenissima* Repubblica di Venezia. Nel frattempo un modello *perfettissimo*² lo trattenne per se e fu il primo ad utilizzarlo per osservare e studiare i corpi celesti visibili in cielo. In pochissimo tempo scoprì che le nubi della Via Lattea sono in realtà grandi amassi di stelle, che la Luna ha valli e montagne esattamente come la Terra, che Giove come la Terra ha dei satelliti e ne scoprì 4: Io, Europa, Ganimede e Callisto (In realtà Giove di satelliti naturali ne ha circa 67 scoperti tutti con attrezzature più sofisticate perché più piccoli e meno visibili). Il Cannocchiale fu dunque il primo strumento utilizzato per osservare il cielo e questa intuizione permise per la prima volta di pensare all'esistenza di altri copri celesti non osservabili ad occhio nudo ma che necessitano di strumentazione e tecnologia avanzata per essere osservati. Allo stato attuale dell'arte, in seguito agli studi fatti sulla luce e alle conoscenze acquisite su di essa l'astronomia osservativa è divisibile in quattro categorie: [1]

- Astronomia Ottica
- Astronomia Infrarossa
- Radioastronomia
- Astronomia ad alta energia

Queste quattro macro-categorie provengono dalla divisione del campo dello spettro elettromagnetico della luce che viene osservato. L'astronomia ottica utilizza componenti ottiche (specchi, lenti, rivelatori) per osservare la luce nello spettro che va dall'infrarosso all'ultravioletto. La parte di luce visibile dall'occhio umano è situata proprio al centro di questo intervallo. L'astronomia infrarossa tratta del rilevamento ed analisi delle radiazioni infrarosse, luce quindi con lunghezza d'onda inferiore al nanometro. La radioastronomia rivela invece la luce nella lunghezza d'onda che va dal millimetro al decametro. L'astronomia ad alta energia include l'astronomia a raggi X, a raggi gamma, neutrini e raggi cosmici.

Telescopi I telescopi, cioè i principali strumenti di osservazione del cielo profondo, possono essere distinti in diverse tipologie a seconda della tecnologia che utilizzano[2]:

²Galileo Galilei, Sidereus Nuncius - Caratteristiche del cannocchiale - Venezia, 1610.

- **Telescopi ottici**

- Telescopi rifrattori
Sfruttano attraverso diversi tipi di lenti il fenomeno della rifrazione per focalizzare l'immagine all'oculare.
- Telescopi riflettori
Costruiti con un sistema di specchi, sfruttano il fenomeno della riflessione per focalizzare l'immagine all'oculare.

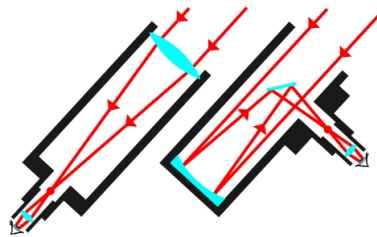


Figura 1.1: Schema di un telescopio a rifrazione e uno a riflessione

- **Radiotelescopi**

I radio telescopi sono antenne radio che, al pari degli specchi dei telescopi che lavorano in ottico, focalizzano la radiazione amplificandola nel fuoco geometrico dell'antenna (dove è posto il detector) che raccoglie il segnale radio. Le antenne sono a volte costituite da una griglia di fili conduttori, le cui aperture sono più piccole della lunghezza d'onda osservata.

- **Telescopi gamma e raggi X**

Questi telescopi non producono immagini, ma delle mappe con le intensità e le direzioni da cui provengono i segnali. Sono costruiti con sistemi di specchi parabolici e iperboliche che grazie ai loro angoli di incidenza molto piccoli (attorno agli 1,5 gradi) permettono di convogliare le radiazioni nel fuoco. Qui vengono utilizzati degli strumenti chiamati CCD (Charge Coupled Device) capaci di contare ogni singolo fotone e registrare l'intensità globale per ricostruire l'immagine a raggi X.[4]

1.2 Osservatorio Astronomico

Dopo aver esplorato le strumentazioni utilizzabili e gli oggetti osservabili arriviamo ad una definizione di osservatorio astronomico che potrebbe essere la seguente: *"Un osservatorio astronomico è una struttura preposta all'osservazione dello spazio cosmico tramite opportuna strumentazione astronomica.*

In genere il suo nome è associato all'installazione di uno o più telescopi" [3]. L'osservatorio astronomico è dunque quel posto privilegiato per posizione e strumentazione, per lo studio dello spazio profondo, dei corpi celesti e più in generale dell'astronomia. Possiamo dividere gli osservatori astronomici in due grandi gruppi, gli osservatori professionali e gli osservatori amatoriali.

Osservatorio astronomico professionale Un osservatorio astronomico professionale è costruito e finanziato da enti di ricerca statali o privati (INAF in Italia, ESA, NASA), è dotato di strumentazione avanzata e effettua studi di ricerca. Per particolare importanza citiamo i telescopi spaziali e l'esponente di maggior rilievo il telescopio spaziale Hubble di proprietà della NASA.

Osservatorio astronomico amatoriale Gli osservatori astronomici amatoriali nascono invece non per fini di ricerca ma per scopi divulgativi, dalla passione e dal lavoro di dei cosiddetti *astrofili*. Danno la possibilità ai visitatori e agli appassionati di poter utilizzare un telescopio di grandi dimensioni, generalmente troppo costoso per un singolo privato. Esiste una associazione, la U.A.I., Unione Astrofili Italiani che raduna migliaia di soci individuali e oltre 200 associazioni ed è impegnata nella divulgazione dell'astronomia.

1.2.1 Il primo osservatorio astronomico italiano

Negli anni tra il 1861 e 1873, viene costruito ad Arcetri (FI) il primo osservatorio astronomico italiano. Grazie agli sforzi di Giovanni Battista Donati, Cosimo Ridolfi e Carlo Matteucci e alle pressioni sul Regno d'Italia e sul Comune di Firenze per avere i finanziamenti, «Il consiglio comunale[...] di una sola cosa deve interessarsi, se cioè Firenze deve avere sì o no il primo Osservatorio Astronomico d'Italia»³ il 27 ottobre 1872 viene finalmente inaugurato il primo osservatorio astronomico italiano che continua oggi, raggiunti quasi 150 anni di attività, a rimanere uno dei principali istituti di osservazione italiani.[5]

1.2.2 Diffusione degli osservatori astronomici in Italia

L'Istituto Nazionale di Astrofisica è il principale ente di ricerca italiano per l'astronomia e l'astrofisica. Possiede attualmente 16 osservatori astronomici, di cui 14 su territorio italiano e 2 all'estero: uno a La Palma, Isole Canarie e uno sul Monte Graham, Arizona, USA. [7] Esistono altri osservatori astronomici, sia pubblici che privati; l'immagine 1.2 è una mappa che include i più importanti, dislocati sul territorio nazionale [10].

³Lettera a Cambray Digny, Sindaco di Firenze, 6/6/1866 (Archivio Storico del Comune di Firenze – ASCFI, Affari del Sindaco, 1866/1).

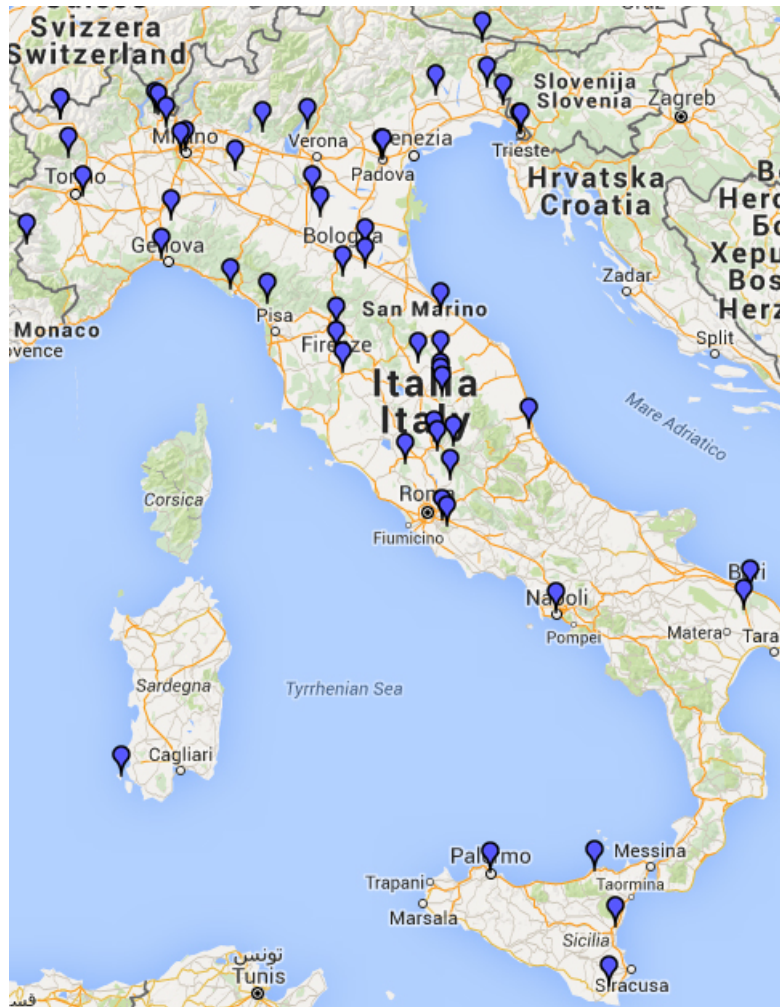


Figura 1.2: Mappa degli osservatori astronomici in Italia

1.2.3 Esempi di osservatori



Figura 1.3: Osservatorio di Las Campanas - Cile

Osservatorio di Las Campanas - Cile Questo è uno degli osservatori astronomici più grandi e importanti al mondo, situato in Cile sul Cerro di Las Campanas. L'osservatorio è composto da cinque telescopi che appartengono a diversi consorzi universitari internazionali. Il sito è stato scelto come sito per la costruzione del Gian Magellan Telescope che sarà il più grande telescopio al mondo; il GMT sarà costituito da sette telescopi riflettori dal diametro di 8.4 metri e sarà ultimato nel 2019. Questo è un esempio di osservatorio astronomico fortemente votato alla ricerca scientifica, supportato e finanziato dalle più importanti università del mondo. [8]



Figura 1.4: Osservatorio astronomico del Museo del Balì - Italia

Osservatorio astronomico del Museo del Balì - Italia Vediamo ora un esempio di osservatorio astronomico completamente dedicato alla divulgazione astronomica e con un focus particolare all'educazione scolastica. L'osservatorio astronomico "*Franco Pacini*" comprende diversi telescopi, il principale un Ritchey-Chrétien da 40 cm di diametro e due Coronado, studiati appositamente per osservare Sole in due diverse lunghezze d'onda. Nel Maggio 2013 è stato inaugurato un Radiotelescopio, uno dei pochi esemplari presenti in Italia ed unico ad uso esclusivamente didattico-divulgativo, che permette di osservare il cielo al di fuori della banda di luce visibile. Questo osservatorio, inserito nel contesto di un museo della scienza quale è il Museo del Balì, rappresenta un approccio all'osservazione astronomica completamente didattico-divulgativo. Viene infatti utilizzato da scolaresche in visita e dai visitatori del museo per osservare ciò che ad occhio nudo non è possibile vedere, toccando con mano un vero strumento scientifico. [6]

1.2.4 Stato dell'arte della tecnologia

Dal cannocchiale di Galileo al telescopio spaziale Hubble [9], la tecnologia ha compiuto nei secoli passi da gigante. Hubble è l'esempio più alto di dove essa sia arrivata: un telescopio in orbita a 560 km di quota che ha permesso di osservare a distanze doppie rispetto a quelle raggiunte con osservatori astronomici posizionati sulla Terra. Il telescopio spaziale "James Webb" sarà lanciato nel 2018 e sostituirà Hubble, lavorerà nel campo dell'infrarosso e proverà a raggiungere distanze di osservazione ancora inesplorate con Hubble, per raccogliere informazioni sui residui del Big Bang e sull'universo primordiale. Sappiamo infatti che osservando a una distanza di circa 13 miliardi di anni luce è come se guardassimo nel passato 13 miliardi di anni addietro.

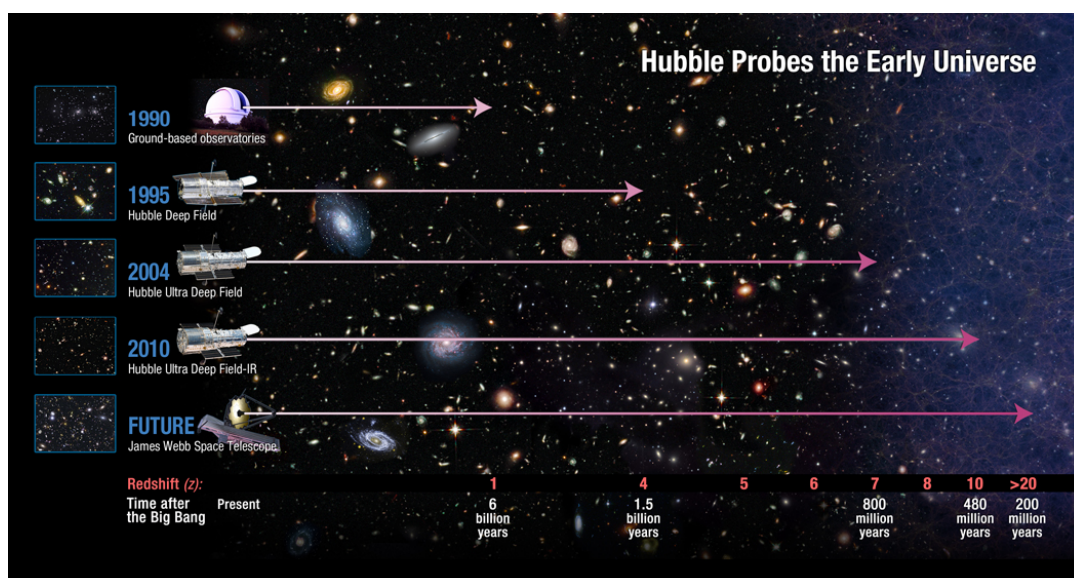


Figura 1.5: Distanze osservabili

Software Astronomici Esistono in commercio un gran numero di telescopi controllabili attraverso pc da appositi software astronomici. Ne citiamo uno fra i tanti, sviluppato dalla software house **Bisque** che si chiama *The Sky X*. Ne esistono 4 versioni, iOS, Student, Serious e Professional, prenderemo in esame la versione Professional che è la più completa e come descrive il nome la più orientata ad un uso professionale. [18] Questo software permette di:

- Muovere direttamente il telescopio o tracciare la posizione di un telescopio in movimento.
- Creare delle liste di osservazione per far far eseguire al telescopio più osservazioni e movimenti in completa autonomia.

- Esplorare le informazioni di ogni corpo celeste osservabile.
- Muoversi attraverso una cartina del cielo virtuale elaborata ad altissima risoluzione.
- Estendere se stesso tramite appositi plugin.

Il controllo remoto è effettuabile solamente attraverso soluzioni di desktop remoto, non esistono attualmente plugin dedicati.

Panorama italiano In Italia la situazione degli osservatori è eterogenea. Come si può osservare dalla figura 1.2 (che come abbiamo già evidenziato non è completa) la distribuzione lungo la penisola è buona, nella maggior parte delle regioni è presente almeno un osservatorio. Alcuni di questi, ad esempio l'osservatorio di Teramo [11] o quello di Bassano Bresciano [12] hanno già sviluppato sistemi per il controllo remoto dell'osservatorio. La maggior parte degli osservatori tuttavia sono ancora tecnologicamente arretrati. Qualcuno di questi ha implementato il puntamento del telescopio tramite pc e software appositi, altri invece sono ancora mossi manualmente, sia telescopio che cupola sovrastante. Parallelemente ad alcuni progetti dell'INAF per la modernizzazione degli osservatori astronomici [15], esiste una grossa comunità di appassionati che produce materiale, organizza eventi, sperimenta nuove tecnologie. Parlando di panorama italiano è necessario citare la piattaforma <http://www.skylive.it/>. Questa associazione *Skylive telescopi remoti e astronomianata* nel 2001 fornisce un sistema per il controllo remoto di un osservatorio a Catania ed è attiva anche nel campo della formazione astronomica. Una data importante per questa associazione è l'estate del 2008 quando grazie al loro telescopio hanno trasmesso in diretta corpi celesti durante i concerti del cantante Jovanotti, in tour nei palazzetti italiani. [16]

1.3 Il Progetto

Il progetto "*RoboTelescope*" nasce dalla frequentazione dell'autore della tesi del museo della scienza "Museo del Balì" e del suo osservatorio astronomico. L'osservatorio in questione, seppur dotato di un potente e costoso telescopio, risultava scarsamente utilizzato (circa 300 ore all'anno) nonostante sia dotato di una buona strumentazione (telescopio principale da 400mm, 2 telescopi solari, puntamento e cupola motorizzati) e sia collocato in un contesto che accoglie visitatori come è un museo della scienza. Dopo aver analizzato quindi le difficoltà di portare il pubblico all'interno dell'osservatorio ci si è mossi per portare virtualmente il telescopio ovunque ci sia una connessione internet: aule di scuola, conferenze, dirette televisive. Il progetto è essenzialmente

sviluppare un sistema software che permetta di connettersi da remoto all'osservatorio e utilizzarlo in tutte le sue funzioni, ricevendo indietro le immagini in diretta riprese dal telescopio. In questo modo sarebbe possibile rendere omaggio allo scopo con cui tutto l'osservatorio è stato costruito: la divulgazione dell'astronomia.

1.3.1 Il target

Attraverso le ricerche effettuate per la documentazione sullo stato degli osservatori astronomici è emerso un altro dato: la situazione di poco utilizzo dell'osservatorio del museo Bali non è una situazione isolata ma estesa anche ad altri osservatori lungo tutta la penisola. Tralascieremo quindi ai fini del progetto le categorie dei telescopi spaziali e degli osservatori astronomici finanziati dalle grandi agenzie spaziali e di ricerca e ci concentreremo sugli osservatori presenti sul suolo italiano. Come abbiamo visto gli osservatori sono diffusi sul territorio e la maggior parte di essi offre dei telescopi con buone prestazioni, comandati da un calcolatore per il puntamento di corpi celesti e con un dispositivo di ripresa per effettuare fotografie. Per quale motivo allora non rendere disponibili queste risorse già presenti sul territorio, fruibili da remoto? Con un investimento ridotto si potrebbe ridare nuova vita agli osservatori italiani, non puramente a fini di ricerca, (lasciamo questo onere e onore ad agenzie più competenti e a strumenti più evoluti) ma con obiettivi educativi e divulgativi.

1.3.2 Gli obiettivi

"Se le stelle, anziché brillare continuamente sul nostro capo, non si potessero vedere che da un solo punto della Terra, gli umani non cesserebbero dal recarvisi per contemplare le meraviglie dei Cieli" (Seneca)

Internet ci offre la splendida opportunità di azzerare le distanze: poter osservare il cielo attraverso un telescopio, comodamente seduti sulla poltrona di casa o sui banchi di scuola. Ogni qualvolta accade un fatto straordinario come il passaggio di una cometa (Cometa di Halley, febbraio 1986), un'eclissi (solare parziale 20 marzo 2015), una congiunzione di pianeti (Giove - Venere, Giugno 2015), l'attenzione dell'opinione pubblica è molto alta. Giornali, telegiornali e il mondo del web si popolano di contenuti e si può facilmente notare che sono fatti che interessano non solamente ai soliti appassionati ma ad una platea nettamente superiore. Questi eventi ci ricordano di quanto l'essere umano è infinitesimamente piccolo rispetto alla vastità dell'universo e questo fatto colpisce trasversalmente tutti. Tutto questo significa che uno spazio divulgativo per l'astronomia esiste e che per i prossimi avvenimenti cosiddetti straordi-

nari poter comandare un osservatorio ed avere un punto di vista privilegiato potrebbe essere interessante anche per i non addetti ai lavori.

L'obiettivo più interessante, affrontato quello divulgativo, rimane però quello educativo. Qualche scolaresca fa visita ogni tanto agli osservatori, magari all'interno di una gita scolastica, raramente all'interno di progetti per l'astronomia. Con questo progetto di osservatorio remoto si ha la possibilità per le scuole di poter utilizzare un potente telescopio senza che gli alunni si muovano dalla classe, all'interno del normale orario scolastico. I ragazzi avrebbero così la possibilità di comandare un potente telescopio e vedere non solamente sui libri ciò che nell'universo ci circonda.

"Dimmi e io dimentico. Mostrami e io ricordo. Coinvolgimi e io comprendo." (Proverbio Cinese)

1.3.3 La visione d'insieme

Supponiamo ora per un momento che fra qualche anno grazie ad un finanziamento da una qualsiasi fonte, un considerevole numero di osservatori divengano connessi ad internet, come stiamo descrivendo in questo progetto. Supponiamo che il progetto per il quale il finanziamento viene erogato sia talmente ben pensato e ben studiato che il fine ultimo sia quello di creare un grande unico sito web che raduni tutti gli osservatori, tutte le storie, tutte le immagini e tutte le possibilità di controllo remoto; supponiamo di aggiungere anche il materiale che proviene dai telescopi spaziali che stazionano a centinaia di km sopra le nostre teste. Insomma pensiamo per un attimo ad un unico grande posto per permettere a chiunque di osservare quello che circonda il nostro minuscolo pianeta terra: *se non è progresso questo...*
Un unico posto, miliardi di anni luce di possibilità.

Capitolo 2

Analisi dei requisiti

2.1 Descrizione generale

Il progetto ha come obiettivo principale quello di creare un sistema software che permetta di utilizzare un osservatorio astronomico da remoto. Per fare ciò è necessario costruire un sistema che sia in grado di gestire tutte le parti che compongono l'osservatorio: il telescopio e i suoi movimenti, il dispositivo di cattura delle immagini o dei video montato sul telescopio, l'eventuale cupola posta a protezione della strumentazione e deve fornire ai client che si connettono al sistema l'interfaccia di comando e le immagini catturate.

Il cuore di tutto il sistema sarà un computer al quale saranno collegati tutti i componenti e che fungerà attraverso un collegamento Internet da server web. Il telescopio dovrà essere dotato di motori passo passo per il movimento per poter essere comandato dal software in esecuzione sul computer. Lo strumento di cattura posto sul fuoco del telescopio dovrà anch'esso essere comandato dal software in esecuzione sul computer. La cupola, generalmente di tipo *a fessura* dovrà essere mossa da motori nelle procedure di apertura e chiusura e nei movimenti destra e sinistra. Questi movimenti potranno essere comandati da un microcontrollore, connesso anch'esso al computer. Allo stesso microcontrollore potranno essere collegati anche tutti i sensori che ne monitorano la posizione e le condizioni atmosferiche. Un punto fondamentale del controllo della cupola sarà infatti quello di garantire il funzionamento del sistema solo in caso di condizioni atmosferiche favorevoli, senza le quali la cupola dovrà rimanere chiusa a protezione di tutta la strumentazione.

Il software in esecuzione sul computer si occuperà quindi della gestione e del controllo di tutti i componenti e fornirà agli utenti l'interfaccia di comando.

L'utente generico avrà la possibilità di vedere uno storico del materiale catturato dal telescopio e l'eventuale diretta di ciò che sta osservando. Prima di poter comandare in prima persona il telescopio l'utente dovrà effettuare una registrazione al sistema e ricevere quindi delle credenziali. Una volta effettuata la registrazione e l'autenticazione tramite credenziali avrà la possibilità di effettuare delle prenotazioni orarie, nelle quali l'osservatorio sarà a suo uso esclusivo. Potrà quindi comandarlo ed acquisire materiale video fotografico; il sistema garantirà il corretto utilizzo ed in seguito ad eventuali situazioni di emergenza (ad esempio precipitazioni atmosferiche) si occuperà di portare l'osservatorio in posizione di sicurezza notificando il tutto all'utente.

La situazione appena descritta modella un sistema in cui l'utente può connettersi ad un solo osservatorio. Nel caso in cui gli osservatori controllabili da remoto siano più di uno occorre aggiungere un livello intermedio che indirizzi l'utente verso l'osservatorio scelto. Per fare questo è necessario dividere il server web dal computer che controlla l'osservatorio; un unico server web che si incarica della gestione dei client e di fare da tramite tra gli utenti e l'osservatorio scelto. In questo scenario, da un'unica web application si avrebbe la possibilità di connettersi ad osservatori diversi aumentando così le possibilità di utilizzare diversi tipi di telescopi posizionati in luoghi diversi. Ad esempio, una scolaresca che utilizza il sistema durante una mattinata di lezione avrebbe la possibilità di connettersi a osservatori collocati in zone della terra in cui è notte ed osservare così il cielo notturno.

2.2 Analisi di fattibilità

Dalle analisi effettuate al capitolo 1 sulla situazione degli osservatori in Italia è emerso che esistono su tutta la penisola osservatori dotati di telescopi potenti, sia pubblici che privati. Il progetto ha come target tutti quegli osservatori poco utilizzati che attraverso internet e l'automazione potrebbero aumentare le loro potenzialità divulgative e di effettivo utilizzo. Nel mondo esistono già dei siti internet che offrono questa possibilità come ad esempio <http://www.telescope.org/> e <http://www.itelescope.net/>. Entrambi i sistemi offrono agli utenti la possibilità di effettuare astrofotografia attraverso i loro telescopi, a seguito di una sottoscrizione di un abbonamento. La proposta di osservatorio remoto è quindi concreta e realizzabile: l'istituto nazionale di astrofisica italiano offre già alcuni osservatori controllabili da remoto tramite software vnc, non esiste però un portale unico e la situazione da osservatorio a osservatorio è molto frammentata. [15] Esiste un progetto europeo per l'astronomia 2.0, chiamato GLORIA, che nasce con l'intento di

mettere in rete centinaia di telescopi in tutto il mondo e portare così lo studio dell'astronomia su Internet. Il sito internet del progetto è disponibile su <http://gloria-project.eu/it/>. Come abbiamo visto quindi stanno nascendo in tutto il mondo progetti per l'astronomia 2.0 e questo a dimostrazione del molto spazio ancora disponibile per la divulgazione astronomica e per fornire sempre più materiale e risorse al percorso educativo scolastico.

2.2.1 Analisi tecnica

Il progetto si avvale di tecnologie già esistenti da tempo; il controllo di un telescopio tramite software e da remoto, l'automazione di oggetto complesso come la cupola di un osservatorio, la trasmissione di materiale video e fotografico, il controllo attraverso una rete di sensori dell'ambiente in cui opera il sistema. La novità sta quindi nel costruire il sistema che integri queste tecnologie hardware e software e le colleghi fra loro, le renda disponibili in rete, e realizzi l'obiettivo del progetto.

2.2.2 Costi e benefici

I costi del progetto sono legati allo sviluppo del software ed all'eventuale acquisto di materiale accessorio come sensori ed attuatori per l'osservatorio. Considerando che i costi maggiori del sistema, legati alla costruzione della cupola e all'acquisto del telescopio (un telescopio da 400mm come quello dell'osservatorio del museo del balì si aggira sui trentamila euro) sono già stati sostenuti in quanto l'intervento è mirato ad automatizzare osservatori già esistenti, possiamo affermare che è un progetto a impatto di costo molto ridotto. I benefici che ne scaturiscono sono invece di alto livello: la capacità divulgativa dell'osservatorio a progetto ultimato aumenta considerevolmente poiché non vi è più la necessità di recarsi all'interno dell'osservatorio ma è sufficiente una connessione internet per poterne usufruire.

2.3 Dominio Applicativo

Il contesto in cui opera il progetto è il seguente, come evidenziato in figura 2.1. Analizziamo le varie parti del sistema e di che cosa hanno bisogno:

- **Telescopio**

Il telescopio deve essere provvisto di motori per il movimento e in caso di non presenza deve esserne possibile il montaggio. Anche questo è un requisito essenziale per il sistema in quanto il movimento deve essere necessariamente comandato attraverso un software.

- **Cupola**

La cupola deve essere provvista di motori per l'apertura e per il movimento o deve esserne possibile l'installazione. Questi motori dovranno essere collegati a un microcontrollore per rendere possibile il movimento attraverso il software apposito. Inoltre deve essere dotata o deve esserne possibile il montaggio di sensori per il monitoraggio: condizioni atmosferiche, webcam, sonar per il posizionamento. I sensori sono necessari per mantenere le condizioni di sicurezza durante il funzionamento del sistema, la cupola infatti è la struttura che protegge tutta la strumentazione da agenti atmosferici e/o malintenzionati.

- **Strumento di acquisizione**

Lo strumento di acquisizione è posto sul telescopio e permette di catturare le immagini che esso raccoglie. Anche questo è uno strumento imprescindibile per il sistema di controllo remoto in quanto permette di catturare e inviare agli utenti il risultato finale di tutto il progetto.

La scelta dello strumento di cattura è una parte importante perché determina la qualità (insieme alla qualità del telescopio) delle immagini raccolte. Esiste una disciplina chiamata astrofotografia o fotografia astronomica che si occupa della fotografia di corpi celesti. In questo caso specifico la cattura delle immagini è effettuata montando un dispositivo apposito ad un telescopio che fornisce gli ingrandimenti necessari a fotografare corpi celesti molto lontani dalla terra. Ci sono però dei problemi: i tempi di scatto di questo tipo di fotografia sono necessariamente prolungati per permettere alla maggior quantità di luce possibile di entrare nell'obiettivo. Questi tempi prolungati si scontrano con la rotazione del pianeta Terra da ovest verso est; questa rotazione fa sì che la sfera celeste ruoti apparentemente in senso opposto da est verso ovest. Per compensare tale movimento ed evitare quindi "l'effetto mosso" tipico di quando si fotografa un corpo in movimento si utilizzano dei telescopi a *montatura equatoriale*. Questa montatura pone il telescopio in asse con l'asse terrestre e fa sì che il movimento di inseguimento del corpo celeste effettuato dal telescopio sia ridotto a un solo piano e permette così di ottenere foto nitide dei corpi celesti. Gli strumenti attualmente più utilizzati e di cui dovrebbe essere dotato il telescopio sono:

- **Reflex Digitale** Le reflex digitali hanno sostituito quasi totalmente le reflex analogiche per la loro immediatezza nell'ottenere l'immagine ed esistono in commercio modelli come la Canon Eos 60Da dedicati esclusivamente alla fotografia astronomica.

- **Webcam** Strumenti con rapporto qualità/prezzo conveniente, utilizzati dagli Astrofili specialmente per la ripresa di pianeti, quindi corpi celesti luminosi e sufficientemente vicini al pianeta terra.
- **CCD** CCD - Charged Coupled Device, questo tipo di sensore è molto adatto alla riprese astronomiche perché permette di produrre un basso livello di rumore fotografico rispetto ai sensori CMOS delle macchine fotografiche. Grazie alla diminuzione dei costi questi sensori si sono diffusi anche in campo amatoriale e grazie a nuovi software appositi, anche modesti CCD amatoriali possono creare riprese di alta qualità confrontabili con quelle ottenute con strumenti professionali. [14]

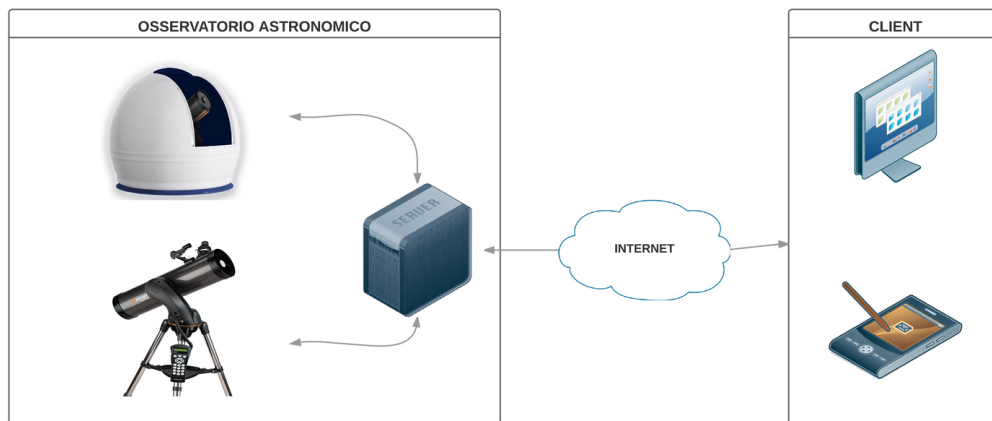


Figura 2.1: Componenti principali del sistema

Questa raffigurazione del sistema in figura 2.1 si riferisce ad un contesto in cui ogni singolo osservatorio astronomico offre all'esterno un'interfaccia di comando.

Sistema standardizzato per più osservatori Prendiamo ora in esame il caso in cui gli osservatori facenti parte del sistema siano più di uno: l'utente è in grado di scegliere quale osservatorio utilizzare a seconda delle sue necessità. Per fare questo è necessario aggiungere un livello intermedio tra il client e l'osservatorio: il server web diventa così unico e sarà lui a farsi carico della gestione utente e delle comunicazioni con i vari computer posti all'interno degli osservatori.

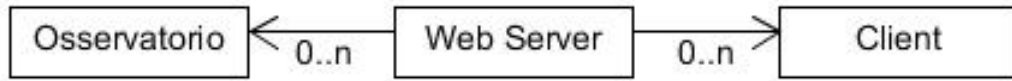


Figura 2.2: Server web centralizzato

2.4 Casi d'uso

I casi d'uso raffigurati in figura 2.3 ci mostrano come avviene l'interazione da parte degli utenti con il sistema. Gli attori in campo sono di due tipi:

- Visitatore
Il visitatore è colui che si connette al sito internet e che ha accesso a tutti i contenuti pubblici del sistema. Può consultare le informazioni dell'osservatorio, ad esempio dov'è collocato, di che tecnologie è dotato, la storia di come e perché è stato costruito. Può osservare in diretta il flusso di immagini che arrivano dal telescopio se questo è attualmente in funzione. Può osservare attraverso delle webcam l'interno dell'osservatorio. Può effettuare una registrazione per ricevere le credenziali e diventare poi utente registrato.
- Utente registrato
L'utente registrato può essere di due tipologie, a seconda dei privilegi che possiede:
 - Utente
L'utente ha i privilegi di base e oltre ad accedere alle informazioni del normale visitatore può prenotare delle sessioni al telescopio. A seguito di una prenotazione, nel tempo a lui riservato, l'utente può comandare il telescopio a suo piacimento e acquisire materiale dal sistema di acquisizione montato sul telescopio.
 - Amministratore
L'amministratore ha i privilegi dell'utente ma ha anche accesso al backend del sistema, può così gestire direttamente il sistema, risolvere malfunzionamenti, calibrare gli strumenti.

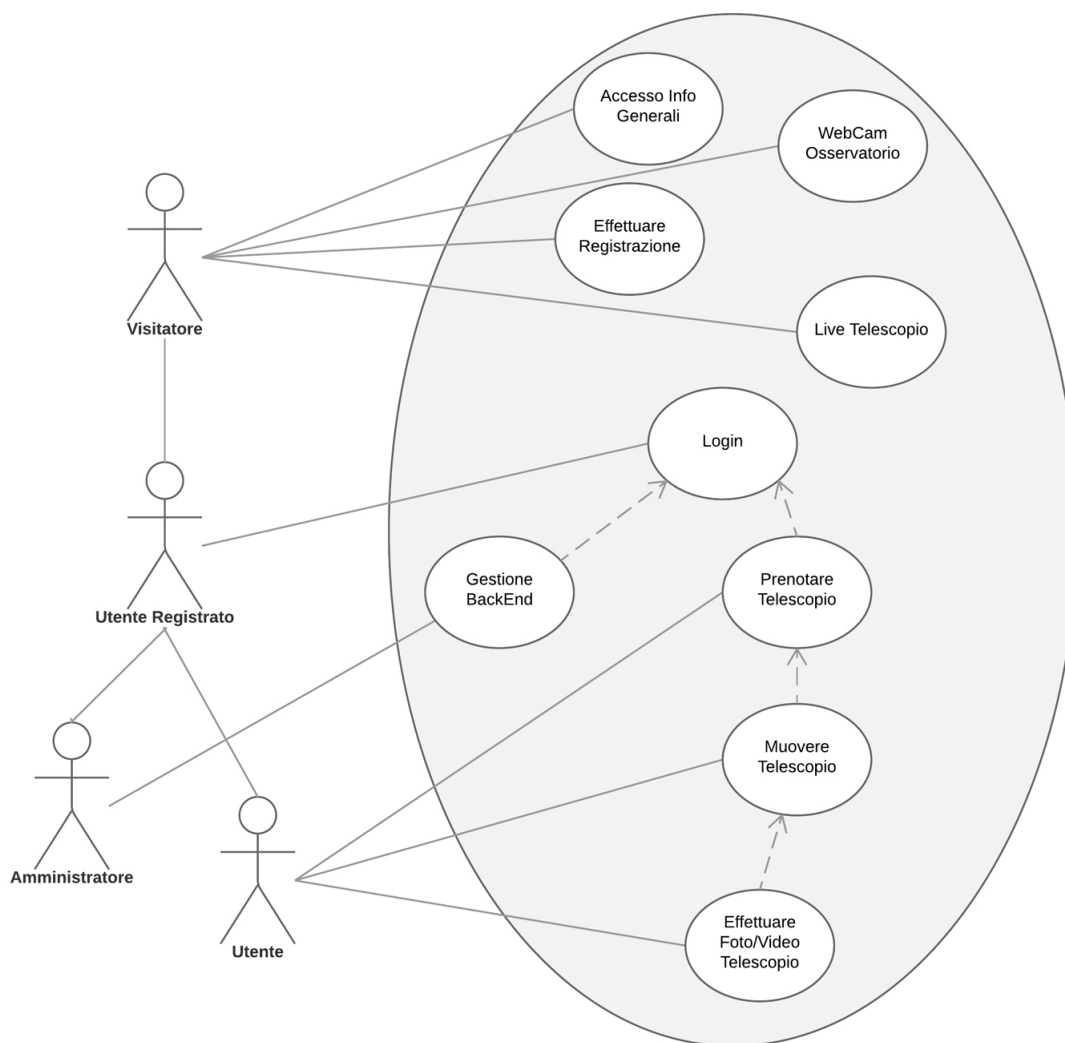


Figura 2.3: Diagramma dei casi d'uso

2.5 Requisiti

2.5.1 Prerequisiti

Internet La connessione ad internet è un punto fondamentale per poter installare il controllo da remoto. Gli osservatori per definizione sono posti in luoghi idonei all'osservazione del cielo, dove l'inquinamento luminoso è minore e dove la posizione di osservazione è privilegiata. Questo potrebbe essere un

ostacolo al requisito di Internet in quanto in zone isolate potrebbe non essere disponibile una connessione o potrebbero essere disponibili connessioni non sufficientemente veloci per il buon funzionamento del sistema.

2.5.2 Requisiti funzionali

- **Operazioni dell'utente**

- L'utente deve avere la possibilità di puntare il telescopio verso un corpo celeste attraverso un interfaccia software.
- L'utente deve avere la possibilità di acquisire materiale video e fotografico, impostando parametri di esposizione, distanza focale.

- **Funzionalità del sistema**

- Il sistema dovrà monitorare costantemente le condizioni generali e risolvere eventuali condizioni critiche.
- Il sistema si occupa della gestione del database degli utenti.
- Il sistema fornisce la web application agli utenti.
- Il sistema deve permettere il dialogo fra i sottosistemi implementando un sistema a scambio di messaggi.

- **Operazioni del telescopio**

- Il telescopio dopo aver ricevuto dei comandi dal sistema deve muovere per effettuare il puntamento scelto dall'utente.

- **Operazioni della cupola**

- Quando la cupola è aperta questa deve mantenere la fessura allineata con la direzione del telescopio muovendosi a destra o sinistra a seconda dei movimenti del telescopio.
- La cupola deve monitorare costantemente le condizioni dell'ambiente e inviare i parametri al server per l'elaborazione degli stessi.

2.5.3 Requisiti non funzionali

- **Astrazione dei sottosistemi**

Le componenti astronomiche (cupola, telescopio, strumento di acquisizione) sono molto frammentate in termini di protocolli: è necessario uno strato intermedio che renda il sistema indipendente dall'effettivo componente sottostante.

-
- Interfaccia standard per la gestione della cupola.
 - Interfaccia standard per la gestione del telescopio.
 - Interfaccia standard per la gestione del dispositivo di acquisizione.
 - **Affidabilità** Il sistema deve essere affidabile: deve implementare la gestione di ogni situazione di emergenza (mancanza di corrente elettrica, mancanza di collegamento internet) per mantenere il sistema in sicurezza.
 - **Estendibilità e riuso** Le componenti software devono essere progettate in modo da facilitare eventuali estensioni di funzionalità e poter essere riutilizzate eventualmente in più sistemi.
 - **Prestazioni** Il sistema implementa un controllo remoto, deve essere quindi garantita l'interattività del sistema effettuando le operazioni in tempo consono e senza ritardi.
 - **Efficienza** L'efficienza interessa due aspetti: quello della banda internet, i protocolli di invio comandi e flusso di dati devono essere ottimizzati in relazione alla quantità di banda disponibile. L'altro aspetto è quello

Capitolo 3

Progettazione

3.1 Architettura

L'architettura di un sistema complesso come quello in oggetto necessita di un approccio modulare. In figura 3.1 possiamo osservare il disegno più semplice per l'architettura composto da tre moduli, un client, un osservatorio e un server che gestisce entrambi.

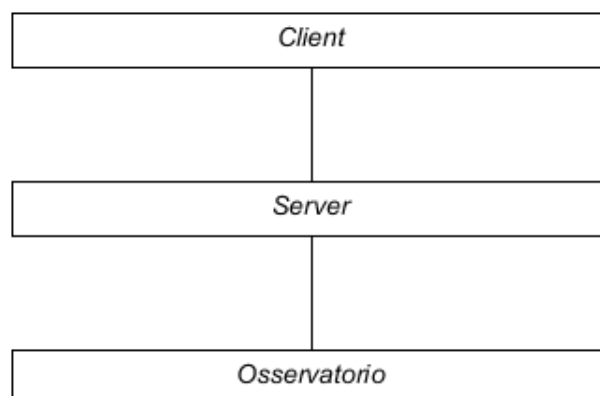


Figura 3.1: Architettura del sistema - Suddivisione in moduli

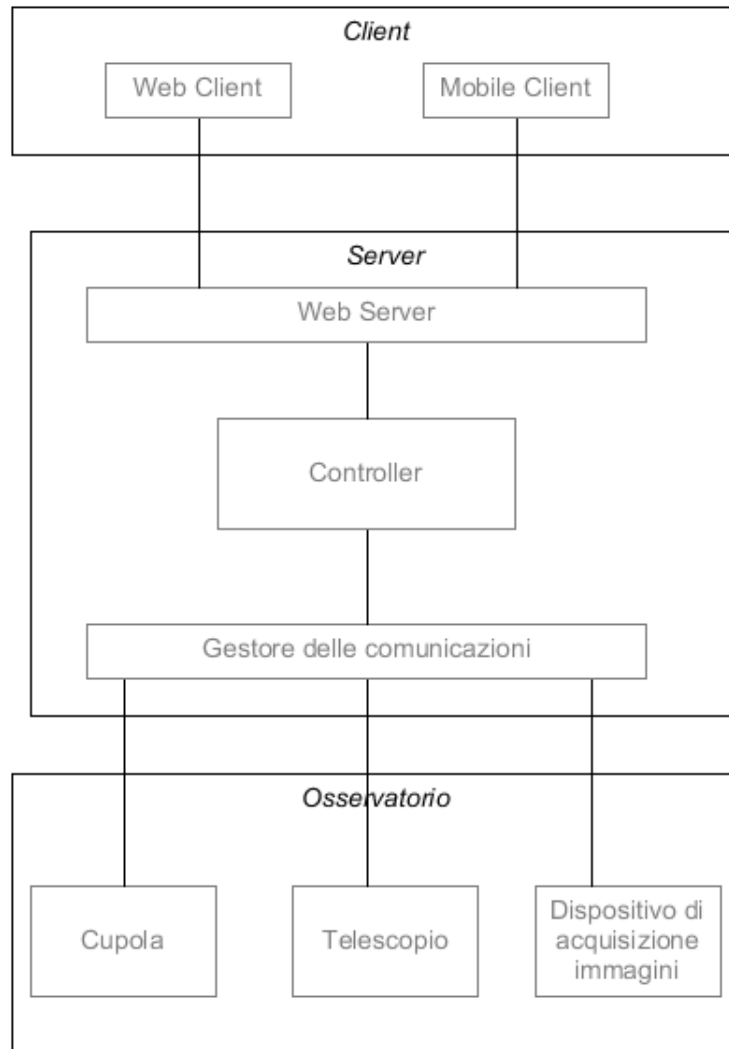


Figura 3.2: Architettura del sistema - Dettaglio Moduli

I tre moduli sono a loro volta composti da dei sottomoduli come mostrato in figura 3.2. I client sono di due tipologie, il web client è l'interfaccia utente accessibile via browser mentre il mobile client è l'applicazione mobile accessibile da un dispositivo mobile. Il server ha un controller centrale e due moduli che gestiscono le comunicazioni: uno verso l'osservatorio e uno verso i client. L'osservatorio ha tre sottomoduli che gestiscono le tre componenti fisiche del sistema: la cupola e le sue automazioni, il telescopio e i suoi movimenti e il dispositivo di acquisizione immagini.

3.1.1 Modello a scambio di messaggi

Il sistema utilizza un modello a scambio di messaggi asincrono. Il server abbiamo visto che gestisce il modulo client e il modulo osservatorio le comunicazioni però sono in entrambi i sensi: il server riceve gli input dal client e invia comandi all'osservatorio, l'osservatorio li riceve, li esegue e restituisce indietro i risultati. Il server li elabora e li spedisce al client. Il diagramma di sequenza in figura 3.3 modella questo schema base di funzionamento del sistema. Esistono però anche dei casi all'infuori dello schema base di funzionamento: ad esempio un timeout del client deve generare un messaggio, una condizione di emergenza dell'osservatorio deve generare un messaggio e il server deve gestire il tutto.

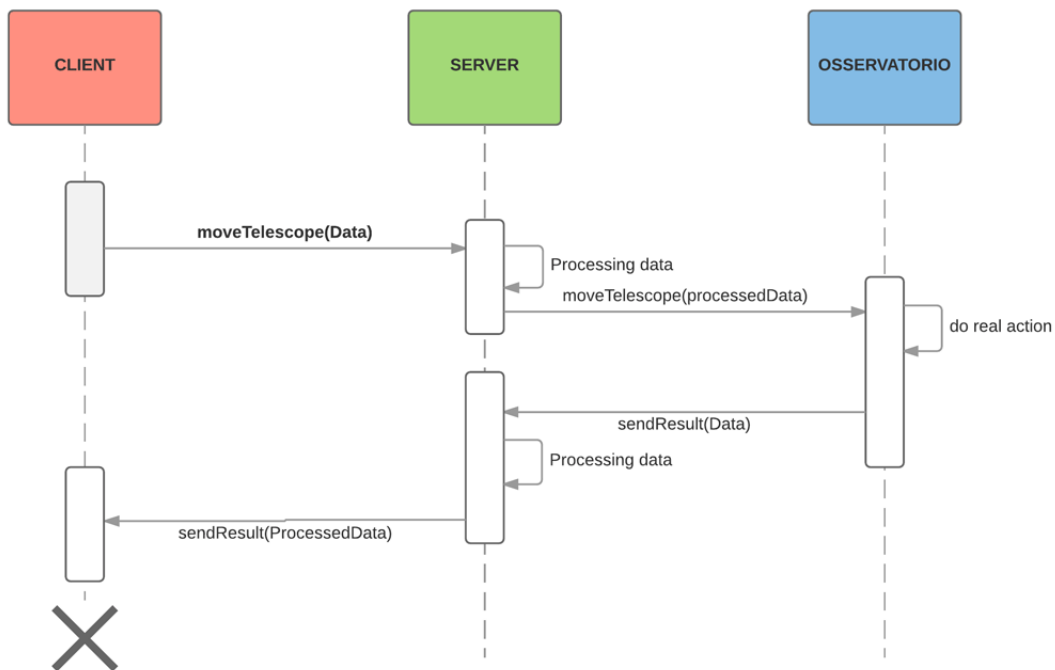


Figura 3.3: Diagramma di sequenza - scambio di messaggi

3.1.2 Interfacce e astrazione

Questo progetto si pone come obiettivo quello di realizzare un sistema implementabile nel maggior numero di osservatori possibili. Per questo motivo deve tenere in considerazione la frammentazione delle tecnologie che riguardano i telescopi, gli strumenti di acquisizione e i sistemi delle cupole. Per fare

questo si adotta un modello a interfacce: ogni sottosistema dovrà quindi implementare secondo i propri standard e protocolli le rispettive interfacce per poter colloquiare nel modo corretto con il server. In questo modo si garantisce uniformità al progetto e fa fronte alla frammentazione di cui sopra. La figura 3.4 mostra l'architettura con l'aggiunta delle interfacce.

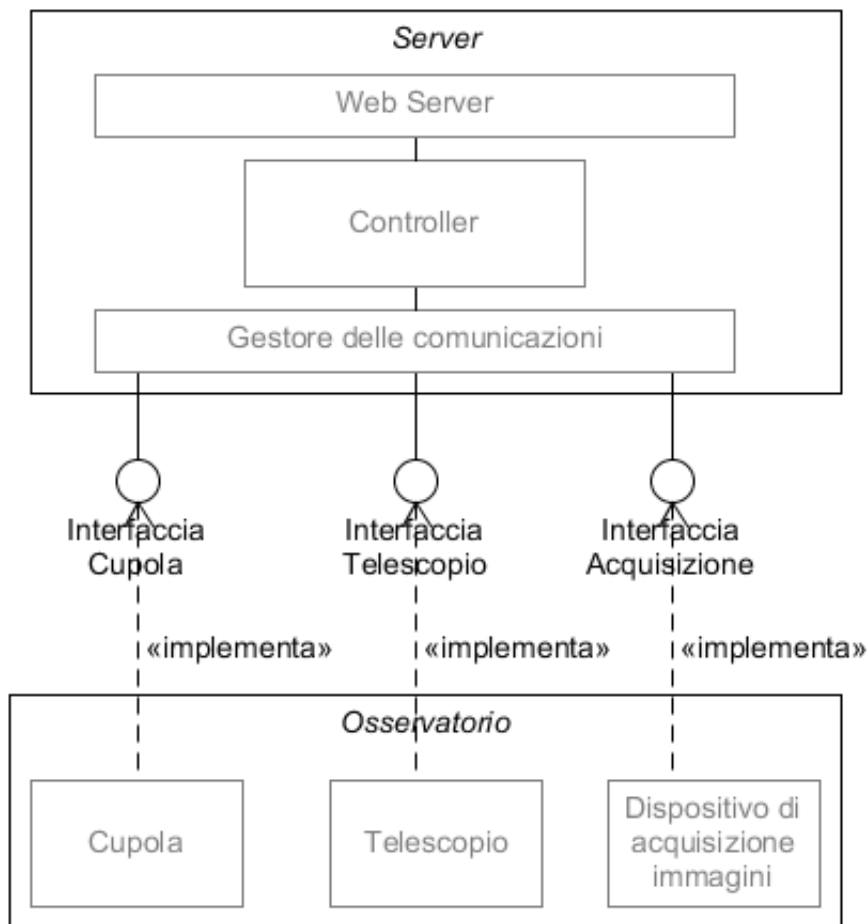


Figura 3.4: Interfacce per limitare la frammentazione dei componenti

3.2 Modulo Osservatorio

Il modulo dell'osservatorio è composto da 3 moduli: Cupola, Telescopio e dispositivo di acquisizione immagini e dalle relative interfacce. Procediamo

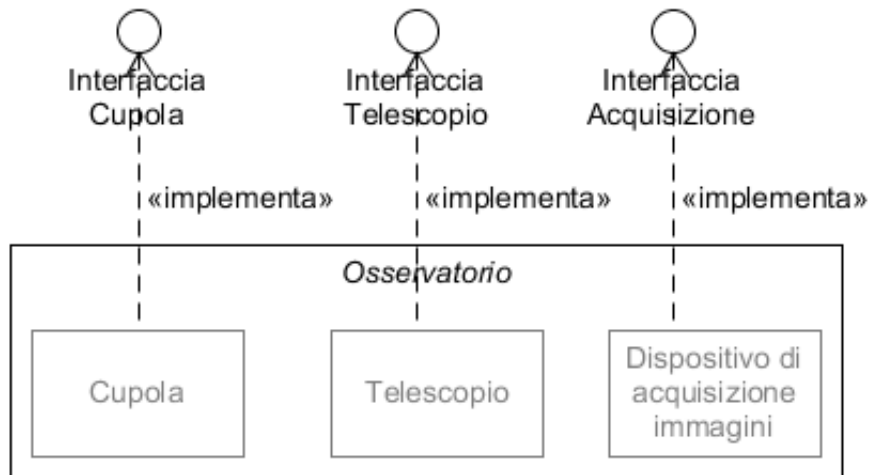


Figura 3.5: Modulo Osservatorio

alla progettazione dei tre moduli separatamente dato che svolgono compiti indipendenti e alla cui interazione pensa poi il controller del server.

3.2.1 Modulo Cupola

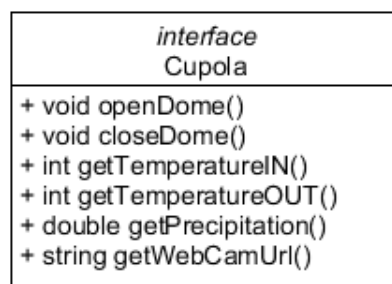


Figura 3.6: Interfaccia cupola

Interfaccia L'interfaccia della cupola fornisce metodi standard per il controllo:

- openDome(), apre la cupola.
- closeDome(), chiude la cupola.

- `getTemperatureIN()`, restituisce il valore della temperatura interna.
- `getTemperatureOUT()`, restituisce il valore della temperatura esterna.
- `getPrecipitaion()`, restituisce il valore delle eventuali precipitazioni.
- `getWebcamURL()`, restituisce l'url per accedere alla webcam.

Diagramma delle classi Il diagramma delle classi relativa alla cupola è raffigurato in figura 3.7, formato dai tutti gli oggetti che lo compongono.

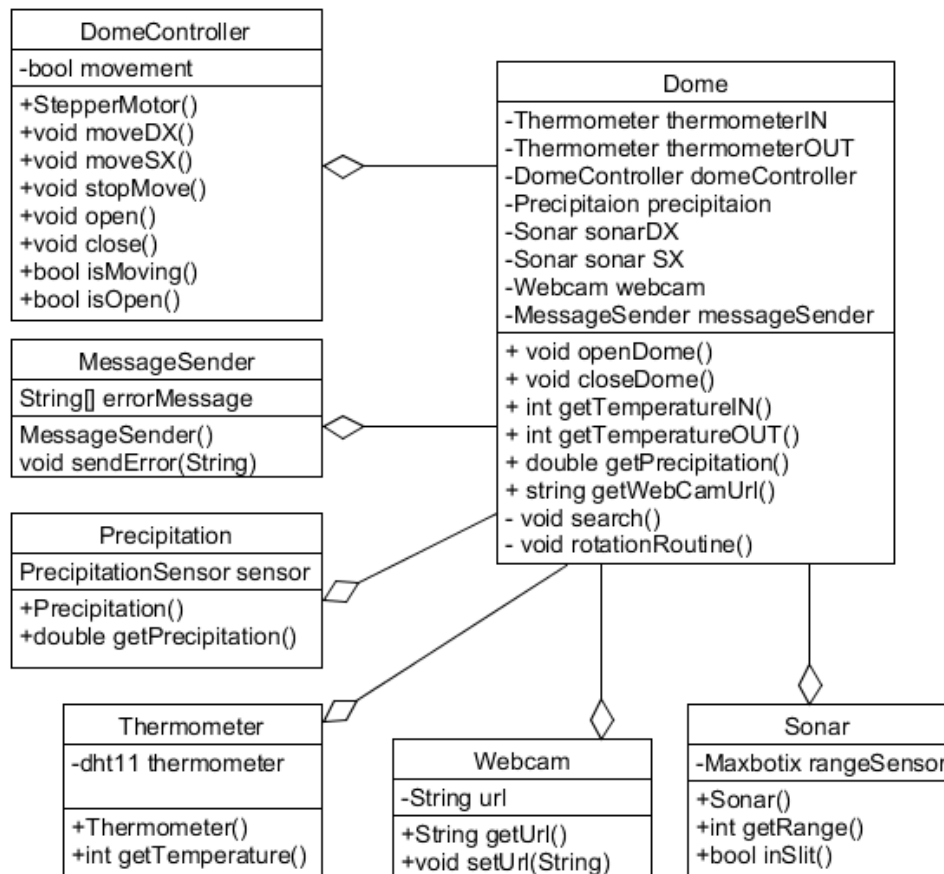


Figura 3.7: Diagramma delle classi del modulo cupola

- **Dome**
Dome è la classe che implementa l'interfaccia e che gestisce tutte le altre classi. I metodi di `search()` e `rotationRoutine()` si occupano di mantenere allineata la cupola con il telescopio.

- DomeController
Gestisce i motori della cupola di movimento e apertura.
- MessageSender
In caso di errori questa è la classe che si occupa di notificare il tipo di errore al server.
- Precipitaion
Gestisce il sensore che rileva le precipitazioni includendo le librerie specifiche del sensore.
- Thermometer
Gestisce i termometri posti all'interno e all'esterno della cupola e includendo le librerie specifiche dei sensori.
- Webcam
Classe che modella la webcam e permette di aggiornare e ottenere l'url.
- Sonar
Gestisce i sonar posti sul telescopio includendo le librerie.

Sistema controllo allineamento I due sonar sono posti sulla canna del telescopio, posizionati uno a destra e uno a sinistra. A seguito di movimenti del telescopio, quando il sonar rileva la cupola il sistema provvede a muoverla nella direzione necessaria. Il sonar sinistro è oscurato dalla cupola allora la cupola si muove verso sinistra fino a quando non è di nuovo allineato con la fessura. Lo stesso comportamento si ha per la parte destra.



Figura 3.8: Posizionamento dei Sonar

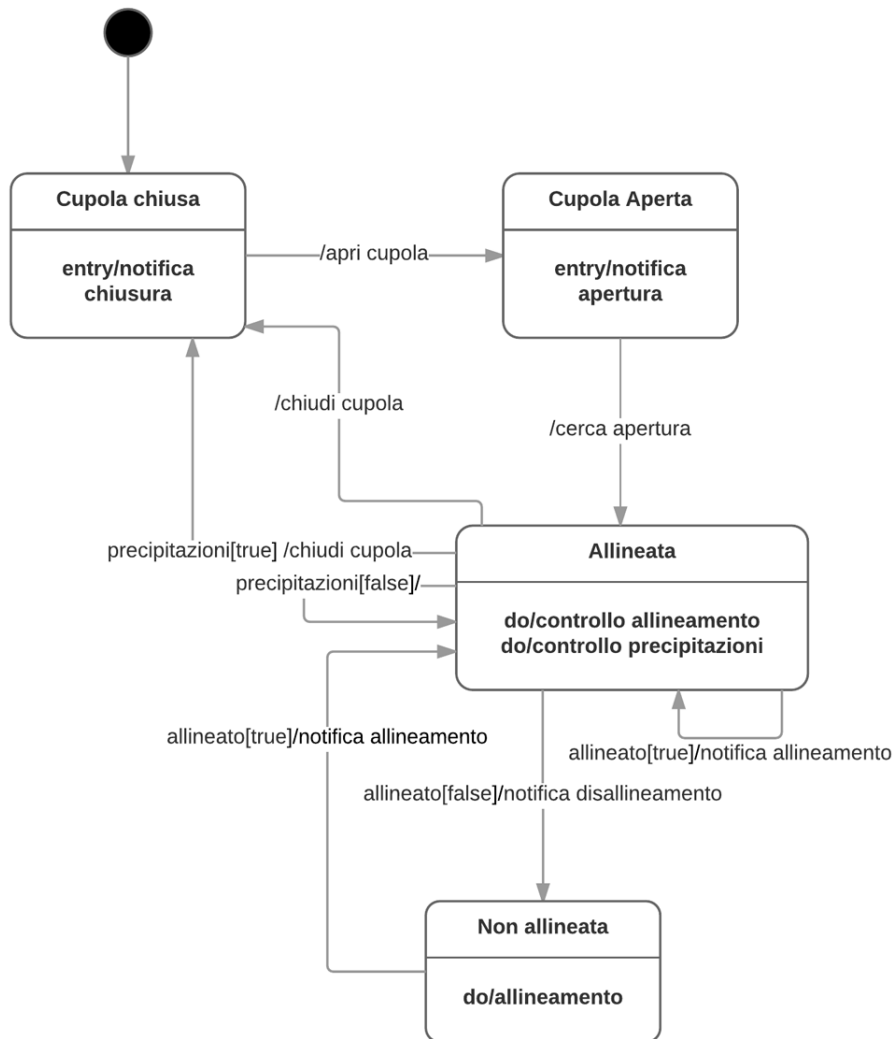


Figura 3.9: Diagramma degli stati - Funzionamento del sistema cupola

Diagramma degli stati Il diagramma degli stati raffigura il funzionamento autonomo che deve avere la cupola. Dopo aver ricevuto i comandi di apertura, la cupola deve allinearsi con il telescopio e notificare una volta completata l'operazione il corretto posizionamento e quindi l'operatività del sistema. Ripetutamente i sensori controllano la posizioni e le precipitazioni e continuano a notificare le condizioni. Nel caso in cui il sensore rileva delle precipitazioni il sistema reagisce chiudendo la cupola e notificando l'avvenuta chiusura. Nel caso in cui invece i sonar rilevino un disallineamento si attivano i motori e la cupola si riallinea, notificando i fatti. Il disallineamento del sonar non implica la copertura da parte della cupola dell'angolo di visuale del telescopio, per

questo motivo il funzionamento non viene interrotto.

3.2.2 Modulo Telescopio

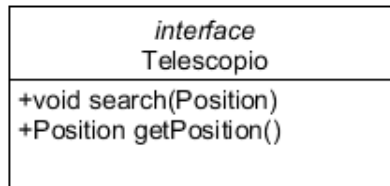


Figura 3.10: Interfaccia telescopio

L'interfaccia relativa al telescopio fornisce due metodi: la ricerca tramite dei parametri di posizioni e l'invio dei dati sulla posizione attuale. La progettazione del modulo del telescopio diventa dipendente dalla tipologia di telescopio applicata. A causa della frammentazione presente in questo settore, al progetto in questione è sufficiente l'implementazione di questi due metodi attraverso le classi e le librerie necessarie.

Una classe deve essere presente anche nel modulo telescopio ed è quella già descritta in figura 3.7, `MessageSender`. Questa classe dialoga direttamente con il server e si incarica di inoltrare eventuali messaggi di errore. Contiene all'interno i messaggi di errore relativi al modulo telescopio e diversi da quelli del modulo cupola.

3.2.3 Modulo Dispositivo di cattura

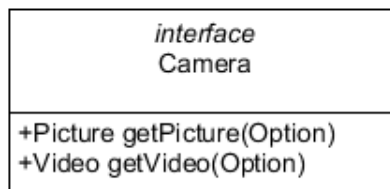


Figura 3.11: Interfaccia dispositivo di acquisizione

L'interfaccia del dispositivo di acquisizione ha due metodi: `getPicture` e `getVideo` che incorporano dei parametri di acquisizione. Il modulo si occuperà

poi dell'effettivo scatto della fotografia o della ripresa video e restituirà indietro un oggetto contenente il file catturato.

Come per il modulo del telescopio anche qui una classe deve essere presente ed è quella già descritta in figura 3.7, `MessageSender`. Questa classe dialoga direttamente con il server e si incarica di inoltrare eventuali messaggi di errore. I messaggi di errore devono essere propri del modulo e diversi dagli altri due.

3.3 Modulo Server

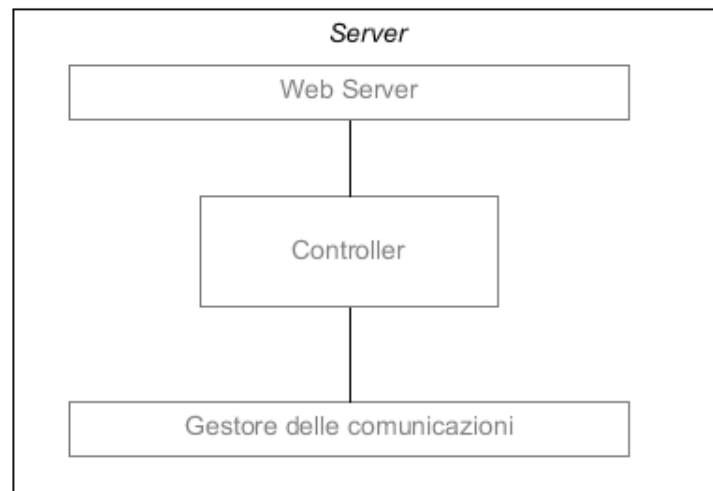


Figura 3.12: Modulo Server

Il modulo server è diviso in tre ulteriori sotto moduli. Il principale è il controller che ha il compito di gestione delle routine dell'osservatorio, delle situazioni di errore, in generale di tutto il funzionamento dello stesso. Si avvale di un gestore delle comunicazioni che funziona da intermediario: invia i comandi all'osservatorio ma è costantemente in ascolto di eventuali messaggi che l'osservatorio invia: il controller ne gestisce poi il contenuto e i comportamenti che ne conseguono. Il web server si occupa della gestione dei client: registrazione utenti, gestione utenti, prenotazioni, user interface.

Il modulo controller utilizza i metodi messi a disposizione dall'osservatorio per la sua gestione. Offre a sua volta dei metodi al web server, nel dettaglio:

- **START SESSION**
Comando di inizio sessione, procedure di inizializzazione del sistema dell'osservatorio.
- **END SESSION**
Comando di fine sessione, procedure di chiusura e messa in sicurezza dell'osservatorio.
- **GET DATA**
Trasmissione di tutti i dati relativi all'osservatorio (temperature, precipitazioni, flusso video, posizione del telescopio).
- **SEARCH**
Comando per muovere il telescopio verso una determinata posizione. Il comando può essere inviato dal client tramite un programma di raffigurazione della volta celeste oppure scegliendo da una lista il corpo celeste da puntare.
- **TAKE PICTURE/VIDEO**
Comando per lo scatto di fotografie e/o riprese video. Necessari anche i parametri di scatto della fotografia(esposizione, sensibilità) e di registrazione video(esposizione, durata).

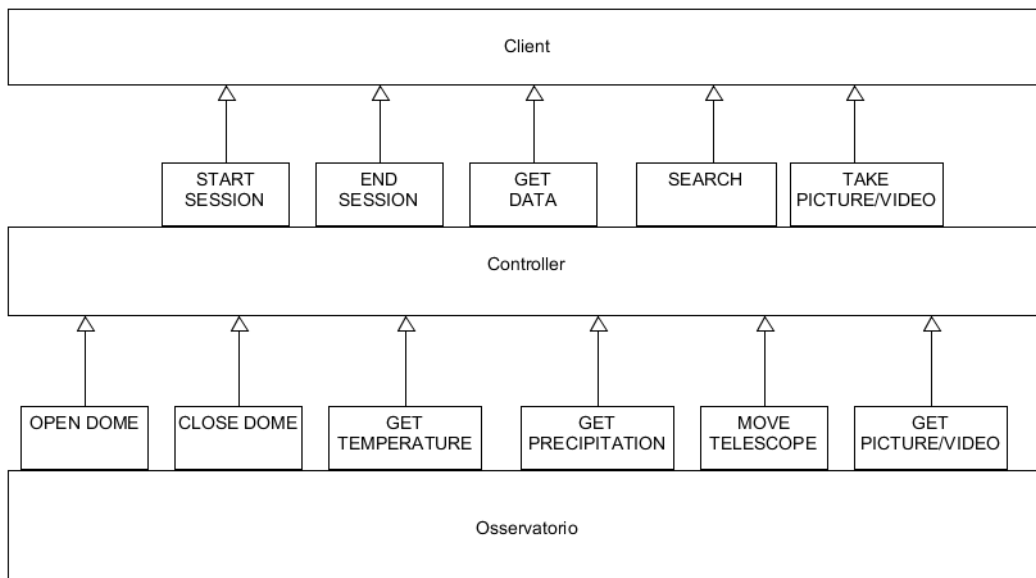


Figura 3.13: API a disposizione del controller e fornite al Client

3.3.1 Modalità desktop remoto

Il sistema può essere utilizzato in via temporanea attraverso servizi di desktop remoto. Allo stato attuale dell'arte è la tecnica più utilizzata per il controllo remoto degli osservatori. In questo modo non è necessario lo sviluppo di un server web, ci sono però delle controindicazioni: i servizi di desktop remoto soffrono di carenza di interattività causata dal grande flusso di dati in entrata e in uscita. Lo sviluppo di un sistema (come quello descritto con l'utilizzo di un server web) che limiti questo flusso ai soli comandi necessari è preferibile.

3.4 Modulo Client

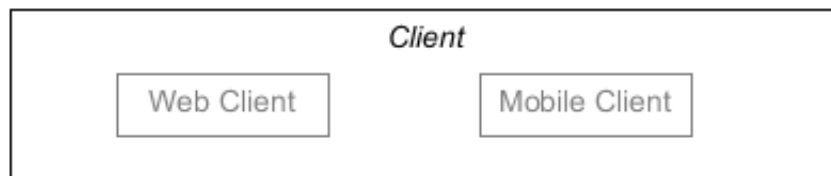


Figura 3.14: Modulo Client

Il modulo client è predisposto per una duplice realizzazione. La prima basata su un'interfaccia web messa a disposizione dal web server, la seconda attraverso un'applicazione mobile. Lo sviluppo delle due interfacce può essere indipendente e potrebbe offrire anche funzionalità diverse. Ad esempio il client mobile potrebbe permettere solamente la visualizzazione delle fotografie scattate dagli utenti, ricevere il flusso delle webcam e del dispositivo di acquisizione. Il client web invece permette la gestione delle prenotazioni dell'osservatorio e l'effettivo controllo dello stesso.

Mobile Application Una prima versione di client mobile è presentata al capitolo 4 dove viene descritto un prototipo già realizzato. Questo prototipo offre tre funzionalità: una raccolta delle migliori immagini scattate dal telescopio, l'accesso alla webcam posta all'interno dell'osservatorio e la trasmissione del flusso video del telescopio quando trasmette in diretta. Questo prototipo è stato sviluppato per l'osservatorio del Museo del Bali, già citato al capitolo 1.

Client locale Il client utilizzabile in fase di test dell'osservatorio e nelle fasi antecedenti allo sviluppo dei client web e mobile è quello locale: si accede direttamente al server e il controllo avviene tramite l'apposito software astronomico. L'osservatorio del Museo del Balì utilizza attualmente questo sistema, in attesa di future estensioni e implementazioni.

Capitolo 4

Sviluppo

4.1 Tecnologie Utilizzate

4.1.1 Arduino

Arduino è una piattaforma open source di prototipizzazione a basso costo, completamente programmabile e facilmente integrabile con sensori e attuatori. Abbiamo scelto questo microcontrollore per il controllo della cupola e del telescopio per il basso costo e per la sua facilità di programmazione e per la possibilità di utilizzare un approccio ad oggetti, necessario a modellare un sistema complesso come quello descritto.

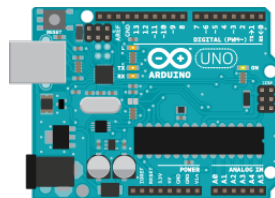


Figura 4.1: Arduino Uno

4.1.2 Sensori e attuatori

Sonar I sonar scelti per questo progetto sono del tipo infrarosso, figura 4.1. Permettono di rilevare la corretta posizione del telescopio; se la posizione è corretta e il telescopio sta puntando la fessura della cupola allora i sensori ritornano il loro valore di MAXRANGE. Nel caso in cui puntino la parete delle cupola ritornano un valore nettamente inferiore.



Figura 4.2: Sonar a infrarossi

Sensori di temperatura I sensori di temperatura scelti sono stati del tipo DHT11, figura 4.2. Questi sensori utilizzano la libreria `dht11` messa a disposizione dal produttore e forniscono valori di temperatura e umidità.



Figura 4.3: Sensore di temperatura

Sensori per le precipitazioni Il sensore per le precipitazioni è diviso in due componenti. La prima parte è una piastrina con dei circuiti stampati il secondo è un trimmer. In caso di precipitazioni, l'acqua si posa sulla piastrina facendo passare corrente attraverso i circuiti; funziona come una resistenza variabile, da completamente bagnato produce una resistenza quasi nulla, da asciutto il contrario. Grazie a questo è possibile misurare se sta piovendo e anche con che intensità. Il trimmer serve per regolare la sensibilità del circuito.

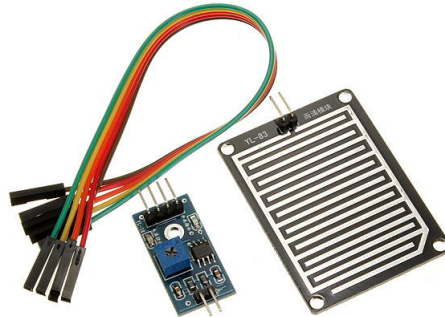


Figura 4.4: Sensore per le precipitazioni

4.1.3 Driver ASCOM

Abbiamo già trattato del problema della frammentazione dei telescopi, approfondiamo l'argomento introducendo il progetto ASCOM - Standards for Astronomy [17]. L'obiettivo del progetto è quello di creare degli standard di controllo per i telescopi. L'approccio consiste nel creare uno strato intermedio fra i programmi di astronomia e i dispositivi. Il vecchio approccio monolitico faceva sì che ogni tipologia di dispositivo avesse il suo programma di controllo creando così una enorme frammentazione. Ulteriori informazioni disponibili su: <http://ascom-standards.org/>.

4.1.4 Linguaggi utilizzati

Arduino è stato programmato in linguaggio C++/Wiring. Wiring è il linguaggio di Arduino e gestisce i due metodi principali `setup()` e `loop()`, la modellazione a oggetti è invece sviluppata in C++, attraverso le due tipologie di file `myclass.h` e `myclass.cpp`. Per il controller è necessario un linguaggio ad oggetti di alto livello, *C#* o *Java*. Utilizzando *C#* si può sfruttare la piattaforma .NET per la creazione del webserver e della relativa interfaccia web.

4.2 Implementazioni

4.2.1 Esempio di implementazione del modulo cupola

Il programma di controllo della cupola tramite Arduino si presenta come nel listato 4.1. Gli `#include` fanno entrare nel programma le classi di cui è composto il modulo cupola, i `#define` modellano i pin del microcontrollore ai quali sono collegati i sensori e gli attuatori, il metodo `setup()` setta il collegamento con la porta seriale mentre il metodo `loop()` esegue ciclicamente la routine del controller e il metodo `comands()` che attende eventuali comandi.

```

#include "Thermometer.h"
#include "Dome.h"
#include "Sonar.h"
#include "Maxbotix.h"
#include "dht11.h"
#include "Controller.h"

#define PIN_TEMP_IN 13 // pin temperatura interno
#define PIN_SONARSX 12 // pin PWM per sonar SX
#define PIN_SONARDX 11 // pin PWM per sonar DX
#define PIN_DX 9 // LOW-->non operativo
#define PIN_SX 8 // LOW-->non operativo
#define PIN_OPEN 7 // HIGH-->non operativo
#define PIN_CLOSE 6 // HIGH-->non operativo
#define PIN_POWER 5 // HIGH-->non operativo
#define PIN_TEMP_OUT 4 // pin temperatura esterno

#define SONARDX_DEFAULT 130
#define SONARSX_DEFAULT 100
#define SONAR_PRECISION 10

Dome dome(PIN_OPEN, PIN_CLOSE, PIN_DX, PIN_SX, PIN_POWER);
Sonar sonarDX(PIN_SONARDX, SONARDX_DEFAULT, SONAR_PRECISION);
Sonar sonarSX(PIN_SONARSX, SONARSX_DEFAULT, SONAR_PRECISION);
Thermometer thermometerIN(PIN_TEMP_IN);
Thermometer thermometerOUT(PIN_TEMP_OUT);
Controller controller(&dome, &sonarDX, &sonarSX, &thermometerIN,
    &thermometerOUT);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {

```

```
comands();
controller.rotationRoutine();
}
```

Listato 4.1: Esempio di programmazione Wiring/C++

Vediamo un esempio di implementazione di un sensore prendendo la classe `Sonar`. Il listato 4.2 mostra il file header della classe `Sonar.h` che contiene la definizione delle variabili e dei metodi pubblici e privati della classe. Il listato 4.3 mostra invece il file `Sonar.cpp` che contiene le implementazioni dei metodi della classe `Sonar`.

```
#ifndef __SONAR__
#define __SONAR__

#include "Maxbotix.h"

class Sonar {
    Maxbotix* rangeSensor;
public:
    Sonar(int pin, int soglia, int precision);
    int getRange();
    void setSoglia(int soglia);
    int getSoglia();
    void setPrecision(int precision);
    int getPrecision();
    bool inSlit();

private:
    int soglia;
    int precision;
};

#endif
```

Listato 4.2: Esempio header in Wiring/C++

```
#include "Sonar.h"

Sonar::Sonar(int pin, int soglia, int precision) {
    this->rangeSensor = new Maxbotix(pin, Maxbotix::PW, Maxbotix::LV);
    this->soglia = soglia;
    this->precision = precision;
}
```

```
int Sonar::getRange() {
    return rangeSensor->getRange();
}
void Sonar::setSoglia(int soglia){
    this->soglia = soglia;
}
int Sonar::getSoglia(){
    return soglia;
}
void Sonar::setPrecision(int precision) {
    this->precision = precision;
}
int Sonar::getPrecision(){
    return precision;
}
bool Sonar::inSlit(){
    int temp = 0;
    for(int i=0; i < getPrecision(); i++)
    {
        temp = temp + getRange();
    }
    temp =(int) temp / precision;
    if(temp < soglia)
        return false;
    else return true;
}
```

Listato 4.3: Esempio di classe Wiring/C++

4.2.2 Prototipo di client in ambiente mobile

Esiste un prototipo di client mobile sviluppato in ambiente Android. Questo prototipo è stato sviluppato in maniera indipendente dal progetto descritto dal presente elaborato ma rappresenta un esempio di un possibile client per mobile del sistema descritto. In figura 4.5 è raffigurata la schermata iniziale che ci fornisce la località in cui si trova l'utente e la distanza effettiva dal telescopio. I tre pulsanti ci portano alle tre schermate dell'applicazione raffigurate in figura 4.6: **Best Picture** è una lista delle migliori fotografie scattate dal telescopio ¹, **Live Dome** ci mostra la webcam presente all'interno del telescopio e ci permette di muoverla in 3 posizioni, **Live Telescope** ci mostra l'eventuale diretta del telescopio oppure la data della prossima diretta².



Figura 4.5: Schermata iniziale del prototipo

¹Le immagini presenti in figura sono dei sample presi da www.wikipedia.com

²L'immagine è puramente illustrativa

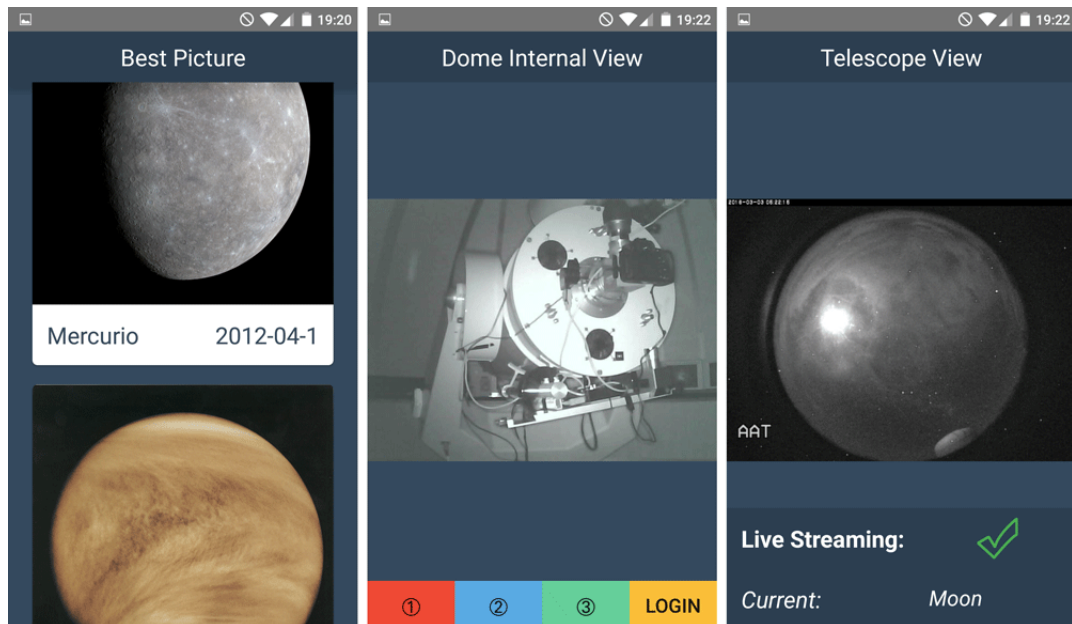


Figura 4.6: Schermate disponibili

Capitolo 5

Testing

Per il collaudo procederemo per fasi: la prima fase di test sarà rivolta ai moduli del sistema, testandone le funzionalità principali. La seconda fase di test sarà invece rivolta all'intero sistema, comprendendo quindi anche le interazioni fra i vari moduli.

5.1 Modulo Osservatorio

Il modulo dell'osservatorio è composto da tre sotto-moduli che andremo a testare separatamente in quanto tre sistemi distinti fra loro.

5.1.1 Cupola

La cupola è la struttura posta a protezione di tutto il sistema e di tutta la strumentazione. Il sistema che la comanda deve accertarsi che le condizioni esterne siano idonee al funzionamento del sistema e deve permettere quindi l'apertura solamente dopo aver effettuato tutti i controlli. Suddivideremo il collaudo in due fasi: la prima fase di collaudo denominata fase alfa sarà effettuata sul microcontrollore, simulando i dati raccolti dai sensori e monitorando il comportamento degli attuatori. La seconda fase, denominata fase beta, sarà effettuata in condizioni reali utilizzando sensori e attuatori montati sulla cupola.

Fase alfa La fase alfa è dedicata al collaudo del microcontrollore attraverso sensori e attuatori simulati. Per fare questo si utilizza il metodo "stub" che consiste nella sostituzione di una parte di codice per simulare ad esempio il risultato di un sensore. Nel listato 5.1 abbiamo un esempio in pseudocodice di come si può simulare un sensore di temperatura.

```
BEGIN
  Temperatura = LeggiTermometro(Fuori)
  IF Temperatura > 40 THEN
    PRINT "Fa caldo!"
  END IF
END

BEGIN LeggiTermometro(Fonte dentroFuori)
  RETURN 28
END LeggiTermometro
```

Listato 5.1: Esempio di utilizzo di Stub con un sensore di temperatura

Per osservare il comportamento degli attuatori si procede invece sostituendo i comandi di reale attuazione con dei test automatizzati oppure con semplici stringhe di testo.

```
BEGIN
  Movimento = MovimentoDX()
  IF Movimento = "Muovo a DX"
    PRINT "Movimento a DX OK"
  END IF
END

BEGIN MovimentoDX()
  RETURN "Muovo a DX"
END MovimentoDX
```

Listato 5.2: Esempio di utilizzo di Stub con un motore passo passo

Fase beta La fase beta si sviluppa invece non appena il sistema è stato implementato per testare eventuali malfunzionamenti dei sensori o degli attuatori e occorrerà effettuare un monitoraggio costante al cambiamento delle condizioni atmosferiche. Eventuali malfunzionamenti sono osservati e corretti dalla persona che effettua i test che ha la possibilità di comandare manualmente la cupola in caso di comportamenti errati.

Test I test da effettuare nelle due fasi sono li stessi e li suddivideremo in più parti:

- Test di apertura e allineamento

I motori che aprono la cupola devono funzionare correttamente e aprire

la fessura della cupola. Dopo l'apertura, la cupola automaticamente deve allineare la fessura con la direzione di puntamento del telescopio.

- Test di spostamento
Il telescopio, a seguito di un input dell'utente si muove per puntare un corpo celeste. La cupola deve seguire gli spostamenti del telescopio mantenendo allineata l'apertura.
- Test di inseguimento
Nel caso in cui il puntamento di un corpo celeste prosegua per alcune ore il telescopio insegue il corpo spostandosi lentamente verso destro. Questo movimento è necessario per compensare la rotazione terrestre. La cupola deve seguire questo lento spostamento del telescopio.
- Test delle precipitazioni atmosferiche
In caso di precipitazioni atmosferiche la cupola deve sempre chiudersi nel minor tempo possibile. La chiusura permette di portare il sistema in condizioni di sicurezza per evitare che le precipitazioni danneggino la strumentazione.
- Test in situazioni di emergenza
Le situazioni di emergenza possono essere di due tipi: mancanza di connessione e mancanza di corrente. Nel primo caso la cupola deve chiudersi e attendere l'eventuale riconnessione. Nel secondo caso invece deve essere presente un gruppo di continuità che fornisca ai motori della cupola l'elettricità necessaria per chiudere l'apertura e mandare un messaggio di emergenza al server.

5.1.2 Telescopio

Questo modulo si occupa di ricevere i comandi dal server e di puntare il telescopio nella posizione corretta. Le calibrazioni e i test devono quindi essere effettuati con il sistema montato ed effettuati possibilmente con l'ausilio di un astronomo o del costruttore del telescopio. Si assume che i comandi ricevuti siano corretti (sarà compito dei test effettuati sul server rilevare eventuali errori o malfunzionamenti) e si controlla che il telescopio si muova correttamente. Per fare questo occorre eseguire una serie di movimenti e controllare ad ogni spostamento che il telescopio punti effettivamente il punto della volta celeste desiderato.

5.1.3 Dispositivo di cattura delle immagini

I test di cattura delle immagini possiamo dividerli in due categorie: controllo dei settaggi di cattura e trasmissione del materiale. La prima categoria assume che i settaggi ricevuti dal server siano corretti (sarà compito dei test sul server rilevare eventuali errori o malfunzionamenti) e dovranno essere effettuati con un esperto di fotografia astronomica o con il costruttore dello strumento di cattura; bisognerà quindi controllare che le immagini prodotte dallo strumento siano coerenti con i settaggi ricevuti in input. La seconda categoria dovrà invece controllare che le immagini acquisite in locale vengano correttamente inviate al server. Si può procedere a testare il sistema inviando al server immagini fittizie e controllando l'effettiva ricezione delle stesse.

5.2 Collaudo di sistema

Dopo aver effettuato i collaudi sui sottosistemi si procede a testare l'intero sistema. Assumendo che tutti i sottosistemi abbiano passato i rispettivi test questo non implica che assemblando tutto in unico sistema questo sia privo di errori o malfunzionamenti. Collaudato il funzionamento del sistema nelle sue funzionalità specifiche (prenotazione, movimento del telescopio, scatto di fotografia o ripresa del filmato) si procede a testare il sistema simulando delle situazioni critiche (mancanza di corrente, timeout di connessione Internet). Questa fase di test è la più delicata e deve essere effettuata in maniera consistente: una volta terminata il sistema è pronto all'uso.

Conclusioni

Il lavoro presentato nella tesi è il frutto delle conoscenze maturate durante i corsi universitari e delle esperienze maturate all'interno della collaborazione con il Museo del Bali: di questa mescolanza di esperienze sono molto fiero e orgoglioso. Il sistema presentato è un sistema complesso: una tesi di laurea triennale non è abbastanza capiente per approfondirne tutti i vari aspetti e per sviluppare un sistema completo in tutte le sue parti attraverso tutte le fasi dall'analisi al collaudo. Le direzioni presentate in questa tesi sono però a mio avviso le direzioni giuste da intraprendere in questo campo; lo sviluppo anche se parziale del progetto lo rende già un valido elemento di innovazione.

L'osservazione del cielo è una scienza e rientra nell'ambito scientifico; c'è però anche un qualcosa di profondamente antico e di cultura che proviene dagli antichi miti e dalle antiche leggende legate indissolubilmente al cielo, alle stelle e ai corpi celesti. Questo connubio di scienza e cultura rende gli osservatori astronomici dei posti affascinanti e privilegiati: sono una ricchezza del nostro territorio e se questo progetto ne potesse aiutare lo sviluppo e la divulgazione un grosso obiettivo personale e universitario sarebbe raggiunto.

Sviluppi Futuri

Il prossimo passo verso il sistema "*RoboTelescope*" completo è lo sviluppo dell'interfaccia di gestione da remoto; questa funzionalità è essenziale per mandare in pensione la modalità di gestione attuale attraverso software di desktop remoto. Lo sviluppo dell'interfaccia pone le basi per il secondo grosso passo dello sviluppo: aprire il sistema agli utenti esterni, implementando le funzionalità di registrazione e di prenotazione. Il terzo e ultimo passo dello sviluppo è quello più utopistico: la creazione di una vasta rete di osservatori accessibili facilmente dallo stesso sito web attraverso la medesima interfaccia utente: immaginiamo una classe del liceo che una mattina durante l'ora di geografica astronomica si collega con un telescopio situato dall'altra parte del mondo, a favore di buio, per osservare i crateri lunari. Le tecnologie esisto-

no, bisogna però trovare nuove modalità per farle funzionare a vantaggio della collettività.

Ringraziamenti

La storia è più o meno sempre la stessa: dopo un'emozione forte come un campo, il cammino, una route, una festa, un viaggio, un silenzio, un tramonto, c'è un grosso desiderio di dire grazie. Per cui GRAZIE.

Grazie a Babbo Flavio, a Mamma Nico e a sorella Giò per il bene che mi volete, per aver pazientato in questi anni e aver accettato tutti i miei scontrosi silenzi.

Grazie alla mia Nonnina che ha sempre detto che non sarebbero servite a niente, ma alla fine tutti quei ceri e tutte quelle preghiere hanno funzionato!

Grazie ai Nonni e allo Zio, presto arriverà un'altra tesi rilegata da aggiungere a quelle dei cugini: mi raccomando Nonno, so che la leggerai tutta anche se dici di non capirci niente, in quel caso ti aiuto io.

Grazie al Professor Ricci per l'entusiasmo e la competenza con la quale mi ha supportato durante tutto il lavoro di ideazione e di stesura della tesi.

Grazie al Balì per questa bella opportunità di collaborazione e per le belle persone che ho incontrato.

Grazie a tutti i miei amici e a tutte le belle persone che ho incontrato in questi anni perché una fase della mia vita si sta chiudendo e se questi anni, come dicono, non me li scorderò mai è solo merito vostro.

Grazie a Chiara per aver creduto in me molto più di me stesso.

Infine, come disse qualcuno, grazie a me stesso perché senza di me non ce l'avrei mai fatta.

Bibliografia

- [1] Wikipedia, *Osservazione Astronomica*, https://it.wikipedia.org/wiki/Osservazione_astronomica, 01/2016.
- [2] Wikipedia, *Telescopi*, <https://it.wikipedia.org/wiki/Telescopio>, 01/2016.
- [3] Wikipedia, *Osservatori Astronomici*, https://it.wikipedia.org/wiki/Osservatorio_astronomico, 01/2016.
- [4] Wikipedia, *Telescopi raggi X*, https://it.wikipedia.org/wiki/Astronomia_a_raggi_X, 01/2016
- [5] Simone Bianchi, Daniele Galli, Antonella Gasperini, *Il primo Osservatorio Astronomico d'Italia. La nascita dell'Osservatorio di Arcetri (1861-1873)*, Firenze University Press, 2012.
- [6] Sito Web, *Museo del balì - portale Internet*, <http://www.museodelbali.it/it>, 01/2016.
- [7] Wikipedia, *Osservatori astronomici appartenenti all'Istituto nazionale di astrofisica (INAF)*, https://it.wikipedia.org/wiki/Lista_di_osservatori_astronomici#Osservatori_astronomici_appartenenti_all.27Istituto_nazionale_di_astrofisica_.28INAF.29, 01/2016
- [8] Sito Web, *Giant Magellan Telescope, GMT*, <http://www.gmto.org/>, 01/2016.
- [9] Sito Web, *Telescopio Spaziale Hubble*, https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html, 01/2016.
- [10] Sito Web, *Cartina degli osservatori in Italia* <http://www.italymap.it/mappetematiche/Osservatori/italymaposservatori.html>, 01/2016
- [11] Sito Web, *Osservatorio Astronomico di Collurania - INAF* <http://www.iaa-teramo.inaf.it/ita/>, 01/2016

-
- [12] Sito Web, *Osservatorio di Bassano Bresciano* <http://www.osservatoriobassano.org/>, 01/2016
- [13] Wikipedia *Astrofotografia* <https://it.wikipedia.org/wiki/Astrofotografia>, 02/2016
- [14] Circolo Astrofili *Concetti fondamentali sul ccd* <http://www.castfvg.it/notiziar/1998/ccd.htm>, 02/2016
- [15] IRNET - Italian Remote Network of Educational Telescopes *Rete INAF di telescopi a controllo remoto* http://www.na.astro.it/~rifatto/sait_2013/W1_Dolci.pdf , 05/2014
- [16] Pubblicazioni Unione Astrofili Italiani *Skylive-GAC-UAI in concerto con Jovanotti* <http://www.uai.it/pubblicazioni/uainews/1-uainews-archivio/7193-concerti-e-t.html> , 05/2008
- [17] Sito Web *ASCOM - Standars for Astronomy* <http://ascom-standards.org/>, 02/2016
- [18] Sito Web *Software Bisque, The Sky X* <http://www.bisque.com/sc/pages/TheSkyX-Editions.aspx>, 02/2016

Elenco delle figure

1.1	Schema di un telescopio a rifrazione e uno a riflessione	4
1.2	Mappa degli osservatori astronomici in Italia	6
1.3	Osservatorio di Las Campanas - Cile	6
1.4	Osservatorio astronomico del Museo del Balì - Italia	7
1.5	Distanze osservabili	8
2.1	Componenti principali del sistema	17
2.2	Server web centralizzato	18
2.3	Diagramma dei casi d'uso	19
3.1	Architettura del sistema - Suddivisione in moduli	23
3.2	Architettura del sistema - Dettaglio Moduli	24
3.3	Diagramma di sequenza - scambio di messaggi	25
3.4	Interfacce per limitare la frammentazione dei componenti	26
3.5	Modulo Osservatorio	27
3.6	Interfaccia cupola	27
3.7	Diagramma delle classi del modulo cupola	28
3.8	Posizionamento dei Sonar	29
3.9	Diagramma degli stati - Funzionamento del sistema cupola	30
3.10	Interfaccia telescopio	31
3.11	Interfaccia dispositivo di acquisizione	31
3.12	Modulo Server	32
3.13	API a disposizione del controller e fornite al Client	33
3.14	Modulo Client	34
4.1	Arduino Uno	37
4.2	Sonar a infrarossi	38
4.3	Sensore di temperatura	38
4.4	Sensore per le precipitazioni	39
4.5	Schermata iniziale del prototipo	43
4.6	Schermate disponibili	44