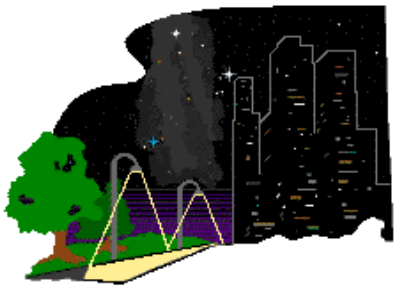
Associazione Tuscolana di Astronomia

www.ata.panservice.it

Osservatorio Astronomico Franco Fuligni - *Vivaro (Rocca di Papa)* ***Tel***. 0694436469

Guida Pratica

per la lotta all'inquinamento luminoso



Logo dell'IDA – International Dark Sky Association

Giugno 2002

Sede legale: Viale della Galassia, 43 - 00040 Rocca Priora
Castelli Romani: c/o CSCS - Via dei Castani, 1 - 00046 Grottaferrata – **Agro Pontino**: Via Germania, 8 – 04100 - Latina
Codice Fiscale: 04971241007 Reg. 3691/3/95 Frascati - Atto pubblico in Roma rep. n. 14638 racc. 4375 del 19.6.97 Notaio A. Sbardella

PREMESSA

In moltissimi casi non è più sufficiente avere la semplice volontà di insegnare o divulgare "sul campo" l'Astronomia, con un Osservatorio, con dei semplici strumenti, anche semplicemente ad occhio nudo: da decenni le nostre città sono afflitte da una tipologia di "inquinamento" a moltissimi, troppi, ancora sconosciuto, perchè non direttamente collegato alla qualità della nostra vita "materiale", ma piuttosto a quella culturale. Si tratta dell'inquinamento luminoso, inquinamento prodotto da un uso eccessivo, scorretto, energeticamente antieconomico, dell'illuminazione sia pubblica che privata e commerciale.
Nelle città, anche medio-piccole, ma soprattutto nelle grandi metropoli come Roma, la dispersione della luce verso l'alto, verso dove, cioè, non serve affatto, unitamente all'inquinamento atmosferico, rende praticamente invisibile il cielo stellato fino a molti gradi sopra all'orizzonte e riducendo drasticamente la visibilità di tutti gli oggetti celesti. Basti pensare che, da una città come Roma, delle quasi 2000 stelle (almeno) visibili ad occhio nudo se ne possono contare qualche decina fra quelle più luminose. Non solo da decenni dalle città è impossibile svolgere qualsiasi tipo di ricerca astronomica, ma persino la stessa divulgazione e didattica "sul campo". Se si pensa che la maggior parte della popolazione abita, ovviamente nelle città, che le Scuole e tutti i servizi sono lì dislocati, si capisce quale immenso danno arrechi l'inquinamento luminoso alla cultura astronomica e scientifica, danno che si va a sommare all'incuria istituzionale su questi temi.
L'Associazione Tuscolana di Astronomia si è interessata, come d'altra parte da molto tempo fanno importanti Associazioni Nazionali ed Internazionali, al fenomeno, effettuando un rilevamento dell'Inquinamento luminoso su tutta l'Area dei Castelli Romani, già nello scorso 1997, ed ha poi proseguito il suo impegno nel campo partecipando alla costituzione di un coordinamento regionale sull'inquinamento luminoso che ha portato all'approvazione di una importantissima legge regionale (Aprile 2000). Successivamente l'ATA ha organizzato convegni, incontri con le amministrazioni, manifestazioni pubbliche di sensibilizzazione.

Torando al nostro territorio, come emerge dal rilevamento effettuato, l'inquinamento luminoso su Roma non solo rende praticamente inefficace ogni tipo di osservazione dalla metropoli, ma disturba il cielo delle regioni limitrofe fino a circa 40 Km di distanza. Le zone a Nord dei Castelli, quelle direttamente affacciate su Roma, risentono pesantemente degli effetti negativi di questo inquinamento. Tuttavia le zone centrali, ed in particolar modo quelle a Sud-Est, coperte dalla illuminazione diretta dalla catena di Monte Cavo e di Tuscolo - Monte Salomone, risultano, se si considera la relativa vicinanza a Roma, piuttosto buone. Il lavoro esposto quantifica in maniera abbastanza precisa la qualità del cielo, dando una idea più sensata a cosa si intenda per "buona qualità" e fornendo una "carta" della qualità del cielo su tutti i Castelli.
Da questa carta in particolare emerge come le zone più adatte all'osservazione astronomica siano incredibilmente corrispondenti ai confini del Parco Regionale dei Castelli Romani, istituito già nel 1984.
L'Area dei Castelli si pone quindi, quasi naturalmente, come una "oasi" per l'osservazione astronomica anche per tutti coloro, come i cittadini romani, ai quali è stata definitivamente tolta la possibilità di godere dei panorami celesti.

La presente guida vuole essere un punto di riferimento pratico per quanti, soci attivi della nostra Associazione, vogliano impegnarsi in questo campo, dare un contributo utile e referenziato per la lotta all'inquinamento luminoso sul nostro territorio, che si avvale ora, dall'anno scorso, anche di un potente strumento legislativo come la già citata legge regionale: una legge ben fatta, perché fatta sostanzialmente dagli astrofili, che non poteva non essere, dunque, anche il fulcro di questa guida.

UNA INTRODUZIONE ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO

Per poter osservare una parte dei fenomeni celesti, per esempio apprezzare il colore delle stelle più luminose o distinguere un numero sufficiente di stelle per riconoscere il profilo delle costellazioni, od ancora scorgere con un canocchiale i deboli oggetti diffusi come nebulae e galassie, è necessario allontanarsi dalle luci della città che rendono il cielo più luminoso degli oggetti deboli ed in questa luminosità diffusa e lattescente essi scompaiono alla vista.
Perchè per vedere le stelle dobbiamo allontanarci dalla città ? Perchè dobbiamo allontanarci **dall'inquinamento luminoso**.
Ma che cosa è effettivamente l'inquinamento luminoso?



Fig.1

La definizione di inquinamento luminoso è piuttosto complessa, tanto che è stata nominata una commissione, in ambiente astronomico internazionale, il cui compito è dare una definizione universale di tale termine e dare le indicazioni di base per la sua riduzione.

Iniziamo col dire che il cielo, anche il piu buio, ha una sua luminosità, che chiameremo naturale. I fenomeni che stanno alla base di questa luminosità naturale possono essere così riassunti:

1. Emissione intrinseca dell' atmosfera superiore: tutte le particelle che compongono gli strati più alti dell'atmosfera assorbono e riemettono la luce solare in determinate lunghezze d'onda (righe di emissione) o in tutte le lunghezze d'onda di una larga parte dello spettro elettromagnetico (emissione continua). Possiamo farci un'idea di questi fenomeni pensando alle lampade azzurre (mercurio-cadmio) o a quelle aranciate (sodio) dell'illuminazione stradale per quanto riguarda l'emissione di righe ed alle normali lampade ad incandescenza per l'emissione continua.

2. Luce di stelle non risolte: intorno a noi vi sono miliardi di stelle. Ad occhio nudo, nel cielo più scuro ne scorgiamo appena tremila; con un telescopio il loro numero aumenta rapidamente al crescere della superficie di raccolta della luce e del potere risolutivo dello strumento. Con l'occhio o con il telescopio vi sono sempre, comunque, stelle non risolte che contribuiscono, seppur debolmente, alla luce di fondo del cielo.

3. Luce zodiacale: nel sistema solare la materia che non fa parte del Sole si trova tutta nel ed attorno al piano dell'orbita terrestre. Questo piano interseca la sfera celeste lungo l'eclittica, cioè lungo il cammino

apparente del Sole tra le stelle. Allineati lungo l'eclittica si trovano i pianeti che, avendo orbite poco inclinate rispetto al piano di quella terrestre, si mantengono sempre all'interno di una fascia che borda l'eclittica e prende il nome di zoodiaco. Oltre che da pianeti la materia è costituita da polvere che diffonde la luce solare e contribuisce ad aumentare la luminosità del fondo, prendendo il nome di **luce zoodiacale**.

4. Luce proveniente da tutti i corpi del sistema solare e diffusa dalla atmosfera terrestre. Durante il giorno il cielo è luminoso a causa della diffusione della luce solare che giunge a noi anche durante l'aurora ed il crepuscolo della sera, quando il Sole è sotto l'orizzonte. L'atmosfera diffonde la luce della Luna ed il cielo notturno non è del tutto scuro quando la Luna è alta in cielo ed estesa la porzione del suo disco illuminata dal Sole e rivolta verso di noi. Un'altro esempio è dato dalle eclissi totali di Luna: il nostro satellite appare debole e rossiccio in quanto illuminato dalla luce solare diffusa dall'atmosfera terrestre.

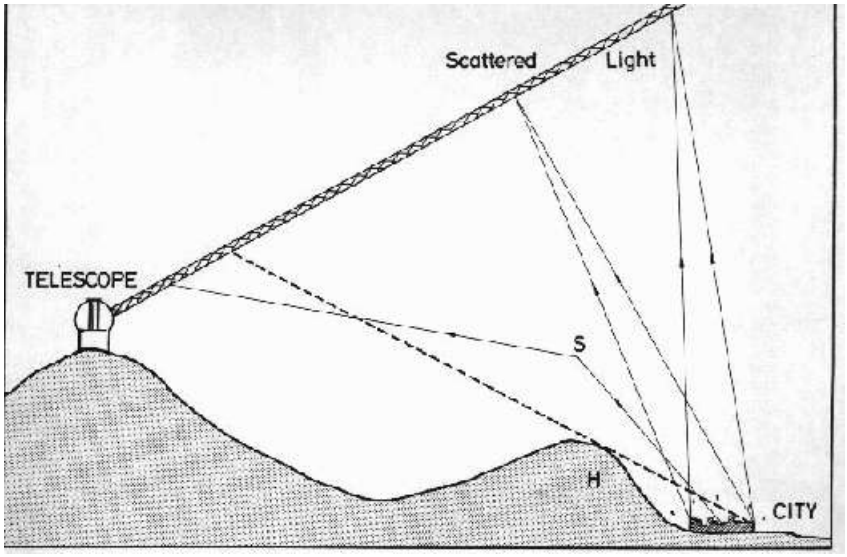
Ma le molecole e le particelle dell'atmosfera terrestre diffondono qualunque luce, indipendentemente dalla sua provenienza, e quindi **anche quella radiazione che proviene dalle nostre attività quotidiane**. La lotta all'inquinamento luminoso si occupa di ridurre proprio questa componente aggiuntiva alla luminosità naturale del cielo . Questa componente un tempo era del tutto trascurabile mentre, dopo la rivoluzione industriale e l'introduzione dell'illuminazione elettrica, ha preso il sopravvento riducendo progressivamente le aree del nostro pianeta veramente lontane dall'illuminazione artificiale. Sono diventati così sempre piu preziosi e ricercati astronomicamente proprio quei siti che non hanno beneficiato del progresso industriale.

Il disegno schematizza ciò che avviene in prossimità di un centro abitato pieno di luci. La luce artificiale inquina il cielo, cioè contribuisce ad aumentare la sua luminosità, a causa del fenomeno della diffusione (scattering) da parte dell'atmosfera terrestre. Ogni molecola o particella di polvere o gocciolina di aerosol che si trova al di sopra di un osservatore o di un telescopio intercetta una piccola frazione di questa luce e la diffonde su tutto l'angolo solido che copre il campo di vista.



Fig.2

Il disegno mostra che la luce artificiale raggiunge l'osservatore, munito o no di telescopio, a causa della diffusione diretta da parte delle molecole e particelle gassose di aerosol che si trovano all'interno del suo cono di vista ed anche a causa della diffusione multipla cha ha luogo in zone anche lontane e non direttamente orientate verso il telescopio (punto S) o, addirittura, coperte da uno ostacolo naturale (la collina H).
Come possiamo ridurre l'inquinamento luminoso? È stata nominata dalla SAIt una commissione che, insieme con ingegneri illuminotecnici e tecnici progettisti e costruttori di impianti di illuminazione, sta cercando di dare le specifiche per minimizzare tale inquinamento luminoso.
Diventa intuitivo, dal disegno riportato sotto, che il problema è quello di **non mandare luce verso l'alto**.



A causa di luci inadeguate, di impianti di illuminazione di esterni mal orientati, (è la maggioranza dei casi), la luce viene inviata più o meno direttamente verso l'alto. Ma la soluzione esiste:

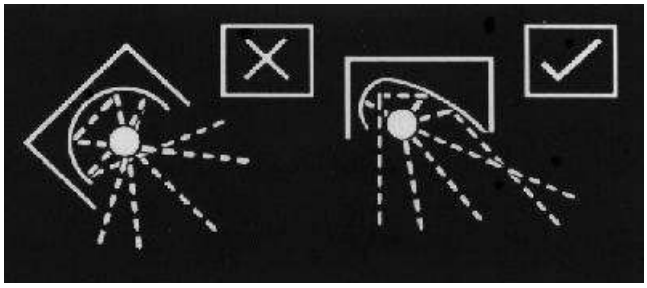


Fig.3

La figura 3 mostra lo stesso viale illluminato con luci inquinanti (foto a sinistra) e non (foto di destra). Si può notare che nella foto di destra sono visibili molti piu particolari dell'ambiente che nella foto di destra: molta luce non significa molta sicurezza, anzi puo essere il contario.
Alcuni suggerimenti per ridurre l'inquinamento luminoso:

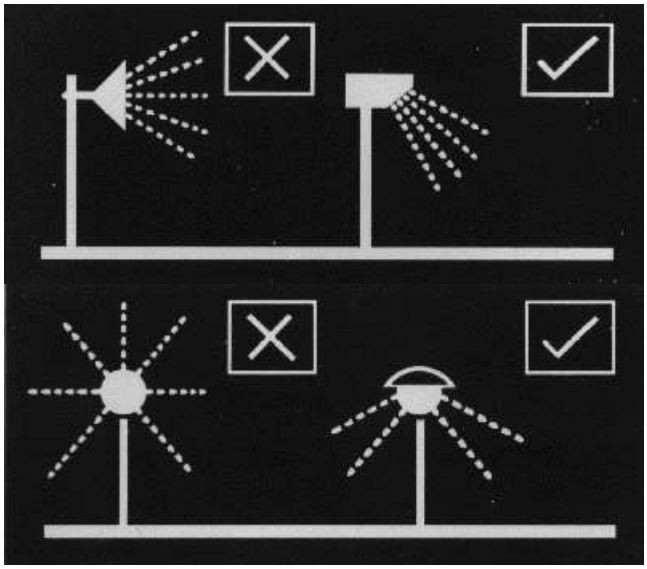
1. Può apparire fin troppo ovvio, ma il primo suggerimento è quello di spegnere la luce **quando non serve**.

2. Orientare le lampade che illuminano gli esterni in modo da colpire solo il bersaglio da illuminare e rendere minima quella parte di radiazione luminosa che e' emessa sopra il piano dell'orizzonte .



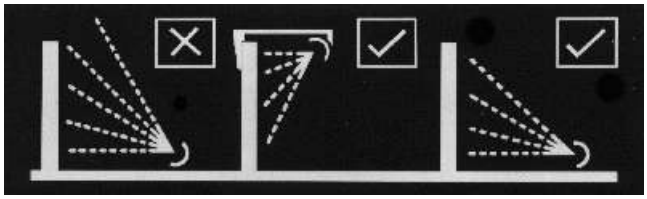
Purtroppo, anche se una lampada è ben orientata, esiste sempre una componente della luce emessa che comunque è riflessa verso l'alto da parte dell'oggetto illuminato. Il manto stradale, per come e' fatto, riflette da solo il 10% della luce che riceve dall'impianto di illuminazione e tale percentuale al momento non e' riducibile a causa della normativa che regolamenta l'asfaltatura e di strade asfaltate ce ne sono tante.....

3. Usare lampade progettate in modo da non dirigere la luce verso l'alto o sopra l'orizzonte.



4. Non sovradimensionare gli impianti luminosi: e' causa di inquinamento e dispendio di soldi.

5. Usare, quando e' possibile, proiettori asimmetrici.



6. Usare lampade che non emettano nelle stesse bande del cielo, contribuendo a un incremento della sua luminosita'.

7. Tenere sotto controllo l'inquinamento atmosferico. Le particelle che compongono l'atmosfera terrestre diffondono tutta la luce che ricevono, per cui anche l'inquinamento atmosferico ha un suo ruolo e un'atmosfera tersa e pulita giova a ridurre l'inquinamento luminoso.

L'INQUINAMENTO LUMINOSO SUI CASTELLI ROMANI

La campagna di rilevamento: preliminari

Anche l'Associazione Tuscolana di Astronomia ha naturalmente partecipato a tutte le iniziative fin ora organizzate a livello nazionale, sostenendole sul territorio in cui opera, i Castelli Romani, attraverso una campagna di sensibilizzazione pubblica da un lato, coinvolgendo direttamente, d'altra parte, anche le amministrazioni civiche con una serie di eventi l'ultimo dei quali è stata la Conferenza Nazionale sull'Inquinamento Luminoso svoltasi in Settembre 1997 come inaugurazione della Settimana dell'Astronomia.

Ha deciso anche, tuttavia, di svolgere una attività che, pure se non richiesta, si può rivelare, come hanno dimostrato altri casi, e come vedremo nel seguito, utilissima: un rilevamento del livello dell'inquinamento luminoso presente sull'area dei Castelli Romani.

Tale rilevamento non ha tanto l'utilità di *individuare* un fenomeno altrimenti inosservabile, in quanto purtroppo i suoi effetti, come abbiamo visto, sono fin troppo evidenti, quanto quello di *quantificarlo* in maniera tale da darne una dimensione, individuarne l'entità oggettiva e soprattutto stabilire i limiti reali che il livello di inquinamento così individuato pone alle varie attività astronomiche: dalla semplice osservazione amatoriale a studi condotti con strumenti professionali in Osservatori e Specole.

In tal modo è possibile anche ottenere una indicazione geografica delle aree più colpite e di quelle che invece vanno più salvaguardate.

In questo senso un rilevamento dell'inquinamento si pone come uno strumento preliminare indispensabile per tentare qualsiasi tipo di intervento successivo, sulla scia di quelli brevemente descritti prima e invece specificamente indicati nei regolamenti riportati in Appendice.

Il Consiglio Direttivo dell'Associazione ha dunque ritenuto opportuno dare l'avvio, già alla fine del 1996, ad un rilevamento dell'inquinamento luminoso sull'Area dei Castelli Romani, che coprisse cioè l'area geografica individuata a Nord dalla periferia romana, a Est e ad Ovest rispettivamente dalle aree urbane di Palestrina-Zagarolo-Valmontone e Anzio-Nettuno-Aprilia, a Sud dal Comune di Velletri compreso. Un'area che raccoglie cioè una popolazione che supera i 300.000 abitanti in circa 20 comuni.

Tutto ciò nella convinzione che una azione efficacie e duratura poteva solo partire da basi rigorose e da un quadro corretto della situazione.

Da quel momento il rilevamento è stato condotto da un gruppo di soci-astrofili appartenenti all'Area di Ricerca dell'Associazione che si sono alternati nelle misurazioni per circa un anno. I dati raccolti sono poi stati preliminarmente pubblicati in un articolo-anteprima sul numero di Settembre di POLARIS, Giornale dell'Associazione, in occasione cioè della Settimana dell'Astronomia e finalmente riuniti e rivisti nel presente lavoro.

Come misurare l'inquinamento luminoso: criteri generali

Le possibili metodologie di misurazione dell'inquinamento luminoso sono piuttosto numerose e vanno da una semplice considerazione qualitativa dello stato generale del cielo a misure rigorosamente quantitative effettuate con opportuni fotometri.

Mentre le prime (qualitative) sono utili soprattutto per un approccio divulgativo e didattico dell'osservazione del cielo, le seconde (quantitative) sono invece estremamente tecniche e sono direttamente collegate alle fonti di emissione luminosa "locali".

Considerato lo scopo che, nei nostri progetti, doveva avere tale rilevamento ci si è orientati su un duplice approccio: il primo, prettamente visuale, è la classica stima ad occhio nudo, talvolta con l'ausilio di un binocolo, della magnitudine limite visibile nel cielo, ovvero delle stelle più deboli osservabili ad occhio nudo; in tal modo, unitamente ad altre considerazioni aggiuntive, si raggiunge già una buona determinazione qualitativa dello stato del cielo.

Il secondo approccio considera invece una stima fotografica che, seppure non quantitativa come quella ottenibile con fotometri o CCD, fornisce dei dati più precisi, confrontabili in maniera oggettiva se si ha l'accortezza di operare nelle medesime condizioni, che si conserva nel tempo ed è verificabile in qualsiasi

momento e che fornisce anche, infine, indicazioni interessanti alla maggioranza degli astrofili, soprattutto astrofotografi.
Questo duplice approccio, integrato da indicazioni di tipo locale sulla qualità e quantità delle emissioni luminose, danno una indicazione completa e razionale del livello di inquinamento raggiunto.

Il secondo problema che si pone riguarda la distribuzione geografica delle stime, in maniera tale da riuscire a coprire quanto più possibile tutta l'area senza mancare di rappresentatività locale.
Allo scopo si è quindi preliminarmente suddiviso il territorio in 21 aree di forma approssimativamente circolare, facendo attenzione a tenere conto delle caratteristiche orografiche e urbanistiche locali al fine di renderle quanto più omogenee possibili: in questo modo è stato possibile classificare le 21 aree nelle seguenti categorie:

1. urbane; zone fortemente abitate, normalmente nei pressi del centro cittadino.
2. residenziali; zone abitate con bassa densità abitativa.
3. rurali; zone adibite a coltivazioni o altro, normalmente con densità di abitazioni molto bassa.
4. boschive; zone protette, all'interno del Parco Regionale dei Castelli Romani, con densità abitativa normalmente nulla.

In ogni caso, comunque, ogni punto area si è considerata rappresentativa per circa 3 Kmq di territorio, che rappresenta comunque una stima di prudenza.
Nella **TABELLA 1** riportiamo le località prescelte con i rispettivi comuni di appartenenza e la relativa categoria.

TABELLA 1

n.	Località	Comune	Categoria
1	Via Grotte Maria	Frascati	residenziale
2	Via di Vermicino (B. d'Italia)	Frascati	residenziale
3	Ponte di Prataporci	Frascati	rurale
4	Vicolo dell'Osservatorio	MontePorzioCatone	residenziale
5	Colle di Fuori - Cimitero	Rocca Priora	residenziale
6	San Silvestro	Montecompatri	boschiva
7	Monted'Oro (pressi INI)	Grottaferrata	residenziale
8	La Molara	Montecompatri	boschiva
9	Campo Sportivo Comunale	Rocca Priora	residenziale
10	Vivaro Frazione	Rocca di Papa	boschiva
11	Campi di Annibale	Rocca di Papa	residenziale
12	Via dei Laghi - incrocio Nemi	Nemi	rurale
13	Macere	Artena	rurale
14	Ceppeta-Comune	Velletri	residenziale
15	Colle Noci	Velletri	residenziale
16	Pavona-Castelluccia	Albano	urbana
17	Valle Riccia	Genzano	residenziale
18	Palazzolo	Albano	residenziale
19	Grottaferrata centro	Grottaferrata	urbana
20	Frascati centro	Frascati	urbana
21	Rocca Priora centro	Rocca Priora	urbana

Il terzo ed ultimo problema preliminare, che merita però una particolare attenzione, riguarda le condizione meteorologiche e di illuminamento naturale.
Le misure possono essere infatti facilmente influenzate dalla presenza di illuminamento naturale, (crepuscolo, alba, fasi lunari) e dalle condizioni di copertura del cielo da parte delle coltri nuvolose o dalla foschia/nebbia. Conseguentemente anche il tasso di umidità relativa dell'aria, nonchè della temperatura, influenza la trasparenza del cielo e può determinare dei temporanei miglioramenti, o peggioramenti, anche sensibili, della qualità media del cielo.
Per quanto riguarda l'illuminamento naturale basta avere l'accortezza di scegliere, per effettuare le misure, un qualsiasi momento tra i crepuscoli astronomici che separano il tramonto dall'alba: l'ora esatta dell'inizio e della fine della notte astronomica sono facilmente ricavabili da appositi grafici. L'illuminamento prodotto dalla presenza lunare è altrettanto facilmente prevedibile disponendo un calendario e scegliendo per le misurazioni i periodi di luna nuova.

Non così facilmente controllabili sono invece i fattori meteorologici: pur facendo attenzione ad evitare situazioni di temperatura foschia ed umidità estreme, sarà inevitabile che un certo grado di variabilità affligga la serie di misure effettuate.
Di questa si può tenere conto, come si è fatto nel nostro caso, annotando i valori di temperatura, umidità e seeing, e valutando poi a posteriori l'entità della correzione da apportare alla valutazione finale, tenendo presente che normalmente le condizioni di seeing migliorano con bassa umidità e temperatura e con buona visibilità e peggiorano in verso contrario.

Prima fase: raccolta dei dati
Una volta stabiliti i preliminari sono finalmente iniziate le misure vere e proprie, le quali hanno occupato il periodo che va dal 15 Dicembre 1996 al 30 Luglio 1997 ed hanno interessato le località riportate nella tabella 1 nella sequenza: 1-4 (Dicembre 1996); 5-8 (Gennaio 1997); 9-13 (Febbraio-Marzo 1997); 14-16 (Aprile 1997); 17-21 (Giugno-Luglio 1997).
I dati venivano raccolti in un apposito modulo prestampato, di cui si riporta un esempio come Appendice "C", suddiviso in quattro sezioni:

1. Sezione uno: località. Vengono raccolti i dati riguardanti la località nella quale è stata effettuata la rilevazione, quale il Comune di appartenenza, le vie di accesso, una descrizione dell'orizzonte locale, una eventuale serie di fotografie illustranti la situazione dell'illuminazione notturna.
2. Sezione due: condizioni meteo. Vengono registrati: ora di inizio e di conclusione della sessione, temperatura, umidità relativa, valutazione soggettiva del seeing (effettuata con l'ausilio di un piccolo telescopio), turbolenza atmosferica, vento ed eventuale presenza di foschie e fenomeni connessi (formazione di condensa).
3. Sezione tre: monitoraggio fotografico. Vengono raccolti i dati sul tipo di macchina fotografica e pellicola utilizzate, che rimarranno poi rigorosamente le stesse per tutti i rilevamenti, sulla esposizione e l'ora di effettuazione delle pose (in genere viene scelta la sequenza: 1minuto, 3 minuti, 5minuti). Nel nostro caso la macchina fotografica utilizzata è stata una Yashica FX3 reflex, con obiettivo di focale 24 mm (f2.8); inseguitore astrofotografico Vixen Super Polaris; pellicola Kodak Gold 400 ASA.
4. Sezione Quattro: monitoraggio Visuale. Si riportano i dati relativi alla stima visuale, effettuata nello stesso momento e nella stessa zona interessata dal rilevamento fotografico. In particolare sono state scelte le costellazioni del Perseo, dell'Ercole e del Pastore, in maniera tale da considerare, nei vari periodi, una porzione di cielo il più possibile prossima allo zenit locale. Su una apposita cartina veniva quindi selezionata un'area di approssimativi 150° quadrati, nella quale l'osservatore segnalava tutte le stelle visibili ad occhio nudo, dopo mezz'ora di adattamento all'oscurità.

In questo modo tutti i dati raccolti sono stati riportati su di una tabella in grado di riassumere la situazione per ogni singola località.

Seconda fase: riduzione dei dati
Una volta raccolti i dati si è passati alla loro analisi. Il criterio adottato per dare una stima della qualità del cielo, come già accennato, è stato di tipo comparativo. Si sono assegnati 100 punti disponibili per ogni singola valutazione, di cui 50/100 relativi alla stima fotografica, 40/100 relativi alla stima visuale, 10/100 relativi alle condizioni meteorologiche. Il risultato finale globale, somma dei tre elementi di valutazione, esprime il "voto" in 100i assegnato a ciascuna località. Se si assegna il massimo dei valori al miglior rilevamento effettuato e, viceversa, il minimo al peggior rilevamento, si potrà esprimere, per tutti gli altri, il livello di qualità **relativa** del cielo della corrispondente località.

Passiamo quindi a considerare i singoli elementi di valutazione:

Stima fotografica
Per ogni rilevamento si è considerata l'esposizione più lunga, normalmente non superiore ai 5 minuti di posa. Le pellicole utilizzate erano tutte diapositive. Nella porzione di cielo inquadrata dal fotogramma si sono quindi scelte cinque stelle di magnitudine nota. Osservando la loro immagine sulla diapositiva,

ingrandita con un microscopio fino ad un massimo di 150X, si è quindi sfuocata = lo sfondo. Si è misurato quindi, in unità opportune, il "punto di sfuocatura" Ex.P. relativo alla stella di magnitudine nota M.
Normalmente la relazione tra questo punto di sfuocatura e la magnitudine, su lunghi intervalli di magnitudine, non è lineare, ma è meglio approssimato da un'andamento esponenziale. Su questo principio si basa, per esempio, il QBM (Quantized Beyer's Method) per la misura della magnitudine di galassie o chiome cometarie. Su piccoli intervalli di magnitudine, tuttavia, soprattutto se in prossimità della minima magnitudine individuata sul fotogramma, ovvero della magnitudine fotografica limite, tale andamento si può considerare lineare.
Nel caso specifico si sono considerate cinque stelle tra la magnitudine 5 e la magnitudine 6,5.
Si è quindi graficato l'andamento Ex.P. vs. M, si è tracciata la retta di best-fit relativa all'andamento lineare relativo e si sono ricavati i valori relativi di coefficiente angolare e di intercetta con l'asse delle ascisse. E' chiaro che l'intercetta con l'asse delle ascisse rappresenta proprio una stima del punto nel quale una stella con "punto di sfuocatura" nullo è già indistinguibile dal fondo cielo, ovvero una stima della magnitudine del fondo cielo. Tal magnitudine è proprio quella che interessa a noi: la magnitudine limite fotografica.
Sulla **TABELLA 2** abbiamo riportato tutti i dati relativi a questa operazione, con l'indicazione della magnitudine limite fotografica stimata per ogni località. L'errore relativo a tali misure risulta dell'ordine di 0,25 magnitudini (1/4 di magnitudine). Da questo valore, utilizzando quindi l'espressione che lega magnitudine limite visuale e fotografica:

$m_{lim\ fot} = m_{lim\ vis} + 5Log(f/d) - 10,7$

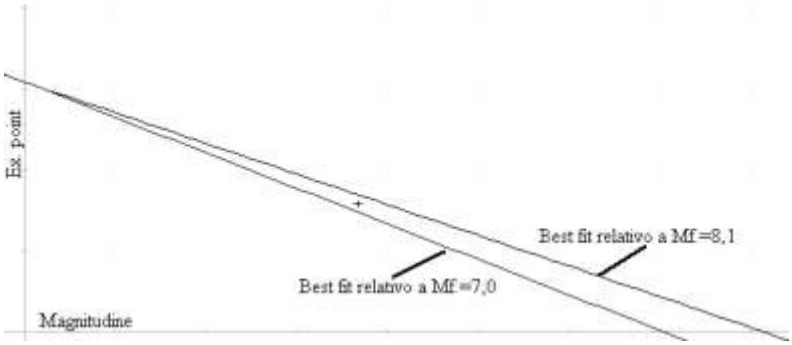
ove f è la focale dell'obiettivo e d il diametro dei dischi stellari (stimato in 0,04 mm), si sono ricavati i relativi valori della magnitudine limite visuale. L'errore su questa stima, considerando quelli su f e d risulta di 0,4 magnitudini.
Anche tali valori sono riportati nella tabella.

TABELLA 2

	campo I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
magnitude	Ex. point										
5,3	6,2	5	7	7,5	7,5	7	4,5	7	7	7	
5,4	5,5	5,3	5,8	7	7,2	6,5	4	7	6,3	5,7	
6,2	2,8	3	4,5	4,5	4,8	3,7	2,3	4,5	4,3	3,9	
6,4	2,7	3	3,5	3,8	4,5	3,4	2	3,3	2,8	3,6	
6,7	2	1,7	2,8	3	4	2,4	1,2	3	2,4	3,00	
lin. regr.	-0,33	-0,40	-0,36	-0,31	-0,38	-0,30	-0,44	-0,32	-0,30	-0,36	
intercept	7,25	7,46	7,68	7,61	8,12	7,40	7,24	7,57	7,36	7,69	
vis. lim. M.	4,1	4,2	4,5	4,4	4,9	4,2	4,0	4,4	4,2	4,5	
magnitude	campo XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
	Ex. point										
5,3	5	4,8	5	6,5	4,9	4,6	5,1	5,2	4,5	4	5,1
5,4	5,2	5	5,2	6,3	4,8	4,5	5	5,1	4,4	3,5	4,9
6,2	3	3	3,4	4,5	3	2,6	3	3,2	2,5	2	3,1
6,4	2,8	2,7	2,9	3,8	2,8	2,3	2,7	2,9	2,4	1,6	3
6,7	1,70	1,5	1,7	2,7	1,5	1	1,6	1,9	1	0,6	1,5
lin. regr.	-0,41	-0,41	-0,41	-0,38	-0,42	-0,40	-0,41	-0,43	-0,41	-0,44	-0,41
intercept	7,44	7,41	7,51	7,80	7,44	7,20	7,41	7,57	7,22	7,03	7,44
vis. lim. m.	4,2	4,2	4,3	4,6	4,2	4,0	4,2	4,4	4,0	3,8	4,2
Δ intercept	0,25										
Δ vis. Lim. m.	0,4										

Nella scala relativa dei valori sopra richiamata, è stato assegnato il valore 50 alla magnitudine limite fotografica: $\mathbf{M_{lim\ fot} = 8,1}$, ovvero la massima trovata, mentre è stato assegnato 0 alla magnitudine limite fotografica: $\mathbf{M_{lim\ fot} = 7,0}$, ovvero la minima trovata. Di conseguenza tutti gli altri saranno valutati (vedi **FIGURA 5**) dalla:

$V = (M_{lim\ fot} - 7)\ (45,45)$



Stima visuale

Si determinano, come prima cosa, le magnitudini di tutte le stelle individuate dall'osservatore e segnate sulla cartina allegata al modulo descritto prima, nell'area, prossima allo zenit, appositamente prescelta.
Di queste si prescelgono tutte quelle che rientrano nell'insieme individuato dalle magnitudini: magnitudine della stella più debole individuata - mezza magnitudine. Di queste si prende il valore medio, e questa viene considerata la magnitudine limite visuale. In questo modo si aggira l'effetto, dovuto alla soggettività dell'osservatore, dell'influenza della carta stellare, che riporta tutte le stelle, normalmente, fino alla magnitudine 7, su quello che effettivamente egli è in grado di osservare: può succedere, cioè, che il fatto noto dell'esistenza di una stella con una certa magnitudine, induca l'osservatore a identificarla anche laddove effettivamente non c'è. Mediando su un intervallo ragionevole di stelle vicine a quella più debole osservata di fatto si può annullare questo effetto.
La stima così ottenuta sarà, comunque, una stima pessimistica e mai una sovrastima. In ogni caso l'errore su questo tipo di stima non si può mai considerare inferiore alla mezza magnitudine.
Per quanto riguarda il punteggio assegnato a ciscun rilevamento, si opera esattamente come sopra e si trova:

$V = (M_{lim\ vis} - 4)\ (20)$

Condizioni meteorologiche

In questo caso è stato assegnato a ciascun elemento meteorologico considerato un certo valore in maniera tale che la presenza di tutti i fattori meteorologici favorevoli (condizioni meteorologiche ideali) diano un contributo nullo alla valutazione trovata con i due precedenti elementi; la totale assenza di tutti gli elementi meteorologici, invece, dia un contributo totale 10.

Presenza di lieve foschia	$\Rightarrow 2$
Assenza di foschia	$\Rightarrow 0$
Alta umidità ($\geq$80%)	$\Rightarrow 2$
Media umidità (80<U<60)	$\Rightarrow 1$
Bassa umidità ($\leq$ 60%)	$\Rightarrow 0$
Bassa temperatura (0-10°)	$\Rightarrow 2$
Medie temperature (10-20°)	$\Rightarrow 1$
Alte temperature (20-30°)	$\Rightarrow 0$
Presenza di vento	$\Rightarrow 0$
Assenza di vento	$\Rightarrow 1$
Seeing tra 3 e 4	$\Rightarrow 3$
Seeing tra 4 e 5	$\Rightarrow 2$
Seeing tra 5 e 6	$\Rightarrow 1$
Seeing migliore di 6	$\Rightarrow 0$

La valutazione globale sarà data dalla somma dei tre valori così ottenuti. Riportiamo nella **TABELLA 3** tutti i valori così individuati per le 21 località.

TABELLA 3

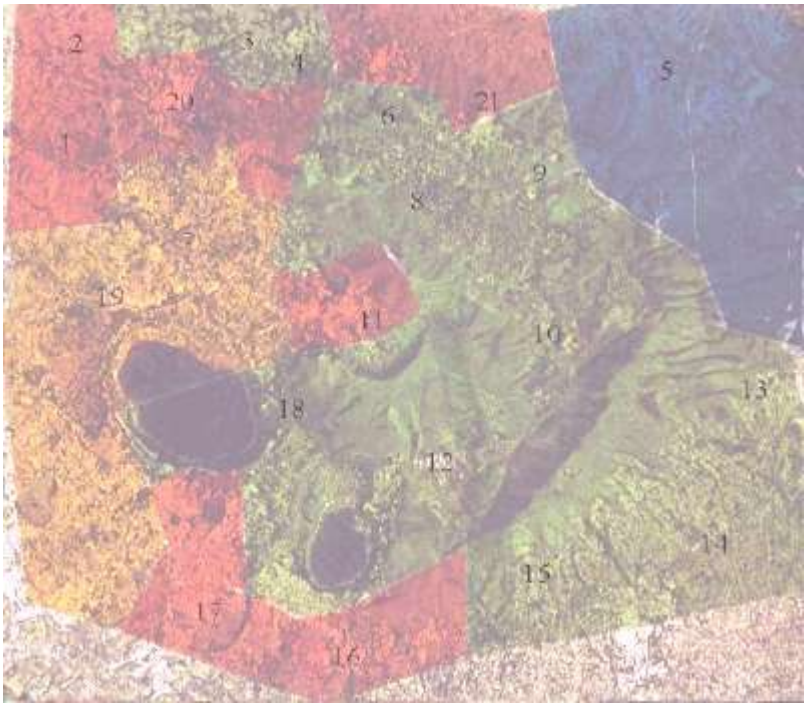
n.	Località	Val. met.	Mag. Vis.	Val.	Stima fot.	Val.	Totale
1	Via Grotte Maria	7	5	30	7.25	10	47
2	Via di Vermicino	6	4	10	7.45	20	36
3	Ponte di Prataporci	4	5	30	7.68	31	65
4	Vic. dell'Osservatorio	3	5	30	7.61	28	61
5	Colle di Fuori - Cim.	5	5.5	40	8.12	50	95
6	San Silvestro	4	5	30	7.40	18	52
7	Monted'Oro (INI)	4	4.5	20	7.24	11	35
8	La Molara	3	5.5	40	7.57	26	69
9	Campo Sport. Com.	5	5	30	7.36	16	51
10	Vivaro Frazione	2	4.5	20	7.69	31	53
11	Campi di Annibale	2	4.5	20	7.44	20	42
12	Via dei Laghi - Nemi	5	5.5	40	7.41	19	64
13	Macere	6	5.5	40	7.51	23	69
14	Ceppeta-Comune	6	4.5	20	7.80	36	62
15	Colle Noci	6	4	10	7.44	20	36
16	Pavona-Castelluccia	5	4	10	7.20	9	24
17	Valle Riccia	4	4.5	20	7.41	19	43
18	Palazzolo	4	5	30	7.57	26	60
19	Grottaferrata centro	4	4	10	7.22	10	24
20	Frascati centro	4	3.5	0	7.03	0	4
21	Rocca Priora centro	4	4	10	7.44	20	34

Terza fase: interpretazione dei dati

Una volta realizzata la tabella 3, si ha a disposizione una situazione puntuale dello stato del cielo, relativa alle 21 località. Unitamente alla classificazione relativa in 100i, quindi, si può stilare una classificazione più qualitativa, che esprime con un giudizio le caratteristiche contenute nei numeri.
E' stato in tal modo possibile realizzare la classificazione indicativa seguente:

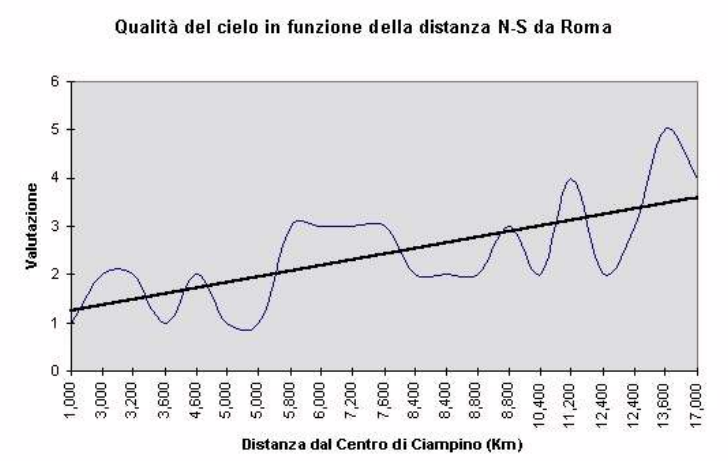
1. (Giallo) **Insufficiente**: 0 < Val. < 35; la qualità del cielo è così bassa che a fatica si distinguono le stelle più luminose delle principali costellazioni. L'astrofotografia è impossibile; l'osservazione telescopica ben poco significativa. E' la tipica situazione delle grandi città.
2. (Rosso) **Mediocre**: 35 < Val. < 55; sono identificabili solo le linee guida delle costellazioni più luminose. Solo gli oggetti non stellari più luminosi mostrano qualche particolare alla visione telescopica.
3. (Verde) **Sufficiente**: 55 < Val. < 65; sono visibili per intero le costellazioni più luminose, anche se piuttosto basse sull'orizzonte. E' possibile l'astrofotografia fino a pochi minuti di posa con pellicole di media sensibilità.
4. (Blu) **Discreto**: 65 < Val. < 85; ben visibili quasi tutte le costellazioni, anche quelle secondarie. L'astrofotografia si può spingere fino a 10-15 minuti di posa con pellicole di media sensibilità e focali medie (f 6-7).
5. (Blu) **Buono**: Val. > 85; cielo adatto per l'astrofotografia, anche se non spinta oltre i 20-30 minuti.

Se si considera quindi il punto del rilevamento rappresentativo di un'area circostante di circa 3 Kmq, ovvero per un cerchio, di centro il punto del rilevamento, e con raggio 1Km, si può costruire una "mappa" dell'inquinamento luminoso, mediando le zone che risultano scoperte dal rilevamento rispetto ai valori delle zone circostanti ed ottenendo così una copertura totale del territorio. Si riporta in **FIGURA 6** il risultato di tale procedimento, realizzato su una immagine ESA presa da satellite della zona dei Castelli Romani.

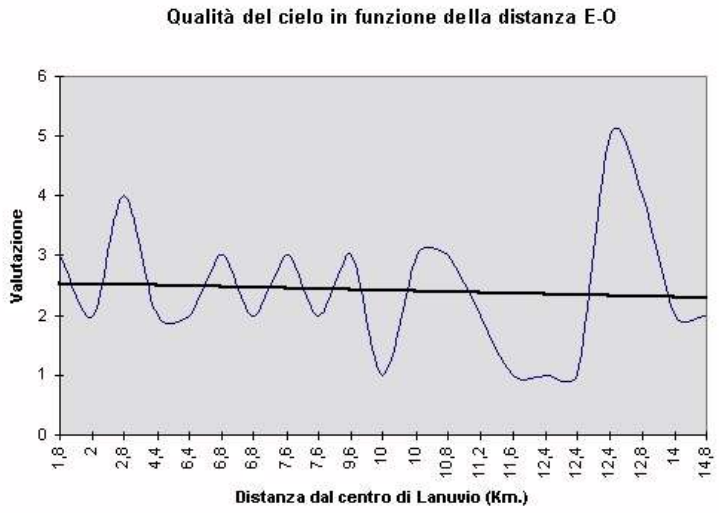


Una tale mappa può dare un impatto visivo immediato della situazione generale della qualità del cielo sui Castelli. Qualche grafico può tuttavia estrapolare forse in maniera più precisa, alcuni dati.

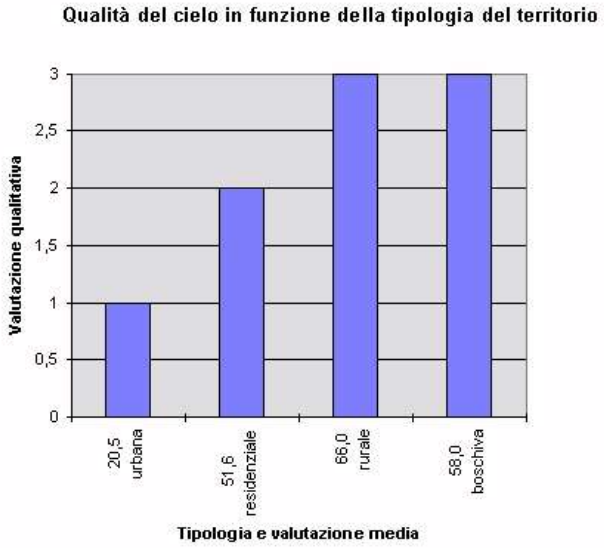
Nella **FIGURA 7** è riportato il grafico che visualizza la valutazione, per i 21 rilevamenti, della qualità del cielo, come nella classificazione precedente (1=insufficiente, 5=buono) in funzione della distanza in Km. dal centro di Ciampino, presa lungo la direzione Nord-Sud. La linea di tendenza lineare della qualità del cielo è evidentemente crescente al crescere della distanza dal centro della capitale.



Nella **FIGURA 8**, invece, è riportato lo stesso andamento ma in funzione stavolta della distanza lungo la direttrice E-O, contata a partire dal centro del comune di Lanuvio, il punto verso Ovest più estremo raggiunto dal rilevamento. Come si vede la linea di tendenza non mostra alcuna deviazione sostanziale dal valore medio.



Nella **FIGURA 9**, infine, riportiamo un istogramma che evidenzia la dipendenza tra tipologia del territorio e qualità del cielo, indicata nell'asse delle ordinate sempre in riferimento alla classificazione qualitativa di cui sopra.



Conclusioni

Le considerazioni che si possono trarre da questi dati sono alcune già ben note agli astrofili dei castelli, altre meno, qualcun'altra, infine, persino inaspettata.

La retta continua rappresentata in figura 7 fornisce il valore medio, relativo ad una certa distanza da Roma, di tutte le località che si trovano a quella stessa distanza lungo la direttrice N-S, e, come si vede, evidenzia un netto miglioramento medio da valori attorno a 1, totalmente insufficienti, (circa 13 Km. dal centro della città di Roma) fino a valori poco sotto il 3, sufficienti (circa 27 Km. dal centro di Roma).

La stessa retta di figura 8, invece, che è costruita nello stesso modo ma a partire dalla cittadina di Lanuvio, al margine EST della zona interessata dal rilevamento e quindi nella direzione EST-OVEST, non evidenzia un effetto simile, ma si mantiene relativamente costante attorno a valori poco sotto la sufficienza.

La somma di questi due grafici è la situazione rappresentata nella cartina in figura 6, che può ritenersi il risultato conclusivo del rilevamento.
Risulta chiaro il peso dell'effetto negativo della presenza delle luci metropolitane di Roma sulla qualità del cielo dei Castelli: oltre al dato del grafico in figura 7, si registra che tutte le aree rilevate fino ad oltre 15 chilometri (in linea d'aria) a Sud della periferia romana non superano la mediocrità. Evidentissimo è l'effetto, nelle esposizioni effettuate in queste aree, di un fondo cielo estremamente luminoso verso l'orizzonte Nord, come si può vedere in quelle riportate come esempio.
Il grafico di figura 8, d'altra parte, ci suggerisce che, nonostante il valor medio sia piuttosto basso, la qualità del cielo non è decisivamente influenzata dalle cittadine circostanti i confini Est ed Ovest dei Castelli.
La carta di figura 6, infine, evidenzia in maniera netta come tutte le zone affacciate al lato Nord dei Castelli siano affette da alto inquinamento luminoso: il panorama notturno, visibile dai belvedere, per esempio, della città di Frascati, che può risultare forse a molti esteticamente gradevole, è una completa iattura invece per tutti gli astrofili e cittadini castellani interessati in qualsiasi misura all'astronomia.
Un altro dato importante che emerge sia dal grafico di figura 7 sia dalla carta, è l'improvviso "gradino" che, a circa 17 Km. dal centro cittadino di Roma, fa aumentare da mediocre a sufficiente la media della qualità del cielo, soprattutto nelle zone centrali dei Castelli.
Questo fatto si può interpretare semplicemente come dovuto all'effetto schermante di Monte Cavo, sul lato Nord-Est, della catena di Monte Tuscolo - Monte Salomone - Monte Ceraso, sul lato Nord-Ovest, che si pongono come degli scudi naturali alla visione diretta delle luci romane.
Laddove questa "schermatura" è meno evidente, cioè proprio sul lato Est dei Castelli, che più dolcemente digrada verso la costa tirrenica, si registra infatti un lieve peggioramento della qualità del cielo, che diventa invece consistente nei centri delle cittadine esposte anche alle luci romane, come Albano e Castelgandolfo.
E' interessante notare che il cielo si mantiene su livelli sufficienti anche sull'estremo lato Sud dei castelli, nelle aree del Comune di Velletri e di Artena, al limite est anche Lanuvio; la presenza della città di Latina, 50 Km. più a Sud, non sembra dunque influenzare in maniera importante la qualità del cielo in queste zone.
Anche le luci di Velletri, pure popolata di 50.000 abitanti, fanno sentire i propri effetti abbassando di circa 1 magnitudine e mezza la magnitudine limite visuale nei dintorni della città, ma facendola tornare ai valori medi solo pochi chilometri al di fuori.
Lo stesso si può dire dell'inquinamento apportato dalle altre cittadine dei castelli, di cui il caso del Comune di Rocca Priora è forse il più significativo: mentre nel centro cittadino si registra una qualità del cielo tra insufficiente e mediocre, solo a 3 Km. di distanza da questo si raggiungono invece valori tra i più alti di tutti i castelli, come Monte Ceraso, Colle di fuori, i Pratoni del Vivaro.

In definitiva si può quindi affermare che buona parte del territorio dei castelli romani, in particolare tutta la sua zona centrale, a Sud di Monte Cavo, gode di una discreta qualità media del cielo, quantificabile nel seguente modo:
1. magnitudine limite visuale compresa tra 5 e 6, in condizioni meteorologiche buone.
2. magnitudine limite fotografica maggiore di 7.5, considerando un obiettivo 24 mm, 400 ASA di sensibilità ed esposizione di 5 minuti.

Per l'astrofilo questo significa poter effettuare delle osservazioni di oggetti deboli (visualmente, al telescopio) fino alla magnitudine utile di circa 12, poter effettuare astrofotografia fino a 15 minuti di posa con pellicole di media sensibilità (e/o rapporti focali medi, quali f6-f10), individuare quasi tutte le principali costellazioni e le stelle più luminose di quelle secondarie, nei giorni di seeing particolarmente buono, poter ammirare la via lattea.
Vi sono comunque un certo numero di località, individuabili da questo studio ma anche dalla pluriennale esperienza osservativa di molti soci dell'ATA, che raggiungono qualità di punta migliori di quelle descritte e che rappresentano delle "isole" osservative da frequentare e salvaguardare.
Partendo da Est verso Ovest, queste sono:

- La zona che va dalla cima di Monte Ceraso (da considerarsi "luogo ideale" anche per posizione e clima) fino alla frazione di Colle di Fuori e ai confini con il Comune di Macere. Molti di questi luoghi sono però difficilmente raggiungibili con l'automobile.

- La estrema parte Sud dei Campi di Annibale, che, nonostante la forte urbanizzazione di questi ultimi anni, presenta ancora luoghi bui: il problema maggiore in questo caso è rappresentato dalla nebbia.
- Lo stesso si può dire per la piana dei Pratoni del Vivaro, praticamente disabitata, ma afflitta da un clima decisamente troppo umido, specie nel periodo estivo.
- Il versante Nord e le cime del Monte Artemisio e del Maschio di Lariano. Si tratta di luoghi difficilmente raggiungibili in automobile ma che offrono delle buone qualità di cielo soprattutto per l'astrofotografia.

Dall'analisi fin qui condotta emerge chiaramente che vi è una strettissima correlazione tra zone naturalisticamente protette e qualità del cielo. Nella stessa figura 6, che rappresenta la mappa conclusiva del rilevamento, le zone medio-buone (verdi e blu) tracciano dei confini che sono quasi corrispondenti a quelli del Parco suddetto.

La buona sorte della qualità del cielo in queste zone, quindi, è legata alla capacità stessa che avrà il Parco di salvaguardare l'ambiente naturale dall'abusivismo e dallo sfruttamento selvaggio e ad una oculata e attenta integrazione delle risorse naturali e della vocazione turistica delle nostre zone.
Tale integrazione potrà permettere, nel nostro caso specifico, ai milioni di cittadini che vivono, oltre che nei comuni dei castelli, nella metropoli e in tutte le città limitrofe, di poter godere, a pochi chilometri di distanza da casa, di un cielo "stellato" degno di questo nome.

Ancora una volta quindi ci sembra di poter sottolineare lo stretto rapporto esistente tra le problematiche naturalistiche e l'inquinamento luminoso, rapporto che ci permette di aggiungere prepotentemente alla rosa delle correlazioni tra quella magnifica scienza che è l'Astronomia e le altre discipline del sapere e dell'attività dell'uomo, il binomio Astronomia-Ambiente.

Un binomio che può rappresentare la strada vincente per trovare il giusto equilibrio tra le necessità della nostra società freneticamente "iper - illuminata" e l'esigenza di salvare, insieme al cielo, una parte importante di noi e del nostro passato.