



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Analisi per uno studio di fattibilità orientato alla realizzazione di anelli (smart rings) per la gestione intelligente e l'integrazione della mobilità e dell'illuminazione urbana all'interno di reti di servizi energetici

*Fabio Bisegna, Franco Gugliermetti*



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**D I A E E - Area Fisica Tecnica**

ANALISI PER UNO STUDIO DI FATTIBILITÀ ORIENTATO ALLA REALIZZAZIONE DI ANELLI (SMART RINGS) PER LA GESTIONE INTELLIGENTE E L'INTEGRAZIONE DELLA MOBILITÀ E DELL'ILLUMINAZIONE URBANA ALL'INTERNO DI RETI DI SERVIZI ENERGETICI

Fabio Bisegna, Franco Gugliermetti (SAPIENZA Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica, DIAEE – Area Fisica Tecnica)

Novembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: Tecnologie "smart" per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione

Responsabile Progetto: Mauro Annunziato, ENEA

# **CONTENUTI**

**Studi di fattibilità**

**pag 4**

**Riferimenti bibliografici**

**pag. 45**

## Studi di fattibilità

*Nel presente studio vengono analizzate situazioni tipo che possono, per ragioni completamente diverse, rappresentare realtà adatte ad un progetto del tipo smart city/town: la città di L'Aquila e il Centro Ricerche ENEA di Casaccia, nei pressi di Roma. Il problema verrà affrontato secondo un approccio tradizionale: presentazione e analisi dell'ambiente, ipotesi di proposta progettuale, valutazioni di carattere economico ed energetico per valutare la fattibilità dell'idea in esame. Come aspetto introduttivo, verranno presentate alcune realtà già esistenti, in particolare negli Stati Uniti, che consentono di avere un quadro completo delle finalità di interventi di questo tipo.*

## Progetti pilota e programmi di ricerca

La tecnologia LED per l'illuminazione stradale e la sua applicazione in un contesto più ampio e complesso, orientato alla realizzazione di ambienti esterni di maggiore qualità attraverso l'integrazione di aspetti diversi si è sviluppata solo molto recentemente, per cui in tutto il mondo si stanno svolgendo programmi di ricerca e sviluppo orientati a raccogliere dati sul lungo periodo riguardo il funzionamento e l'affidabilità. A fronte delle tante esperienze che si stanno promuovendo ed effettuando in diverse parti del Mondo (ad esempio, in 13 grandi città situate in sette Paesi diversi, dalla Gran Bretagna, agli USA, alla Cina, all'India, aderenti al consorzio Lightsavers, gli enti per l'illuminazione pubblica stanno conducendo degli studi sul campo preliminari all'adozione su larga scala della tecnologia LED, al fine di verificarne i potenziali benefici) e dei tanti tentativi di valutazione degli effettivi vantaggi dell'eventuale introduzione della tecnologia a LED su scala urbana (New York, USA: nell'estate/autunno 2009 cinque prodotti LED hanno rimpiazzato le lampade a ioduri metallici sui percorsi pedonali di Central Park, mentre quattro apparecchi LED hanno sostituito gli apparecchi ai vapori di sodio ad alta pressione lungo una strada di scorrimento a Manhattan; Sydney, Australia: sono stati creati quattro siti per test sul campo, dove sono stati montati molti apparecchi LED diversi, inizialmente senza controlli, e in seguito con controlli integrati intelligenti), si è qui deciso di fare riferimento ad alcune situazioni che sembrano ad oggi in una fase più avanzata, e che sembrano essere di maggiore aiuto nella valutazione e nell'interpretazione delle informazioni a disposizione per i successivi studi di fattibilità.

### Los Angeles, California, USA

Progetto di retrofitting stradale di maggiori dimensioni al mondo: la città ha circa 210mila lampioni, e progetta di realizzare il retrofitting di 140mila di essi (tutti quelli di tipo tradizionale): di questi, 20000 sono già stati installati. Prima del retrofitting, la città consumava 190milioni di kWh/anno, con un costo di 17milioni di dollari: a programma ultimato si stima che la spesa sarà ridotta di 10milioni di dollari l'anno, di cui 7,5milioni in risparmio energetico e 2,5milioni in risparmio sulla manutenzione. Sono state definite delle specifiche per l'acquisto delle sorgenti: si richiedono lampade con temperatura di colore di 4300K, 6 anni di garanzia, il 70% di flusso emesso dopo 50000 ore, il 40% di risparmio energetico. Per quanto riguarda i costi legati a tale operazione, globalmente la città di Los Angeles paga 500\$ per ogni apparecchio stradale



istallato: questo costo comprende sia i materiali (423\$), sia i costi di progettazione (30\$), sia quelli di installazione (42\$). L'installazione di Los Angeles utilizza esclusivamente apparecchi equipaggiati con connettività network di tipo Roam per il monitoraggio in remoto. Attualmente, l'impianto non è dimmerabile, ma tale opzione dovrebbe essere a breve abilitata per tagliare ulteriormente i costi di gestione. L'insieme di apparecchi LED installati fornisce un'illuminazione più uniforme, favorendo un effetto visivo "a tappeto", con minime zone d'ombra sul manto stradale (Fig. 1): il miglioramento della visibilità dall'alto, che è stato approssimativamente valutato in cinque volte rispetto alle lampade ai vapori di sodio ad alta pressione precedentemente installate, sembra aver portato risvolti positivi nella lotta alla criminalità.





Figura 1. Illuminazione stradale a Los Angeles, Hoover Street. In alto (pag. precedente): le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione preesistenti fornivano illuminazione disomogenea con aree scure. In basso: il retrofitting con lampade LED crea un illuminamento più uniforme del piano stradale ed una maggiore visibilità

### **San Josè, California, USA**

San Josè ha testato alcuni lampioni stradali concludendo che tali sorgenti non si ripagano esclusivamente attraverso efficienza e dimming. La ricerca ha qui focalizzato l'attenzione sul decadimento nel tempo del flusso luminoso emesso: in questo ambito, si ritiene che svolgano un ruolo importante la temperatura di colore e lo spettro di emissione. Altri test sono stati condotti confrontando le lampade in uso (vapori di sodio a bassa pressione), lampade a induzione a 4000K, e lampade LED a 3500-4000-5000K. L'esperienza, di tipo soggettivo, includeva una lunga lista di domande fatte a volontari alla guida di autoveicoli il cui compito consisteva nel segnalare al sistema di acquisizione dati quando si aveva percezione di un piccolo oggetto-target prestabilito, determinando così la "distanza di discriminazione". Nei test, gli oggetti erano dislocati in modo random nell'area illuminata con le diverse sorgenti al medesimo livello di illuminamento. Il test è stato svolto in due notti consecutive: la prima notte, tutte le sorgenti funzionavano a livello equivalente ai livelli delle lampade ai vapori di sodio a bassa pressione esistenti, la seconda notte i livelli sono stati ridotti del 50%. Le risposte hanno mostrato una forte preferenza per i LED bianchi, in particolare con temperatura di colore pari a 3500K. Risultato significativo è che al 50% del flusso, i LED sembrano consentire ancora una discriminazione dell'oggetto attorno ai 60m, mentre le lampade ai vapori di sodio a bassa pressione scendono a 40m.

Per la raccolta dati sul campo, è stato realizzato un veicolo telecomandato (Fig. 2), equipaggiato con sensori luminosi fotopici e scotopici, un ricevitore GPS con un'accuratezza dell'ordine di 1cm, e un nodo wi-fi che trasmette dati ad un computer portatile; la raccolta dati avviene secondo una griglia rettangolare con maglie di area pari a circa  $0,5m^2$ .

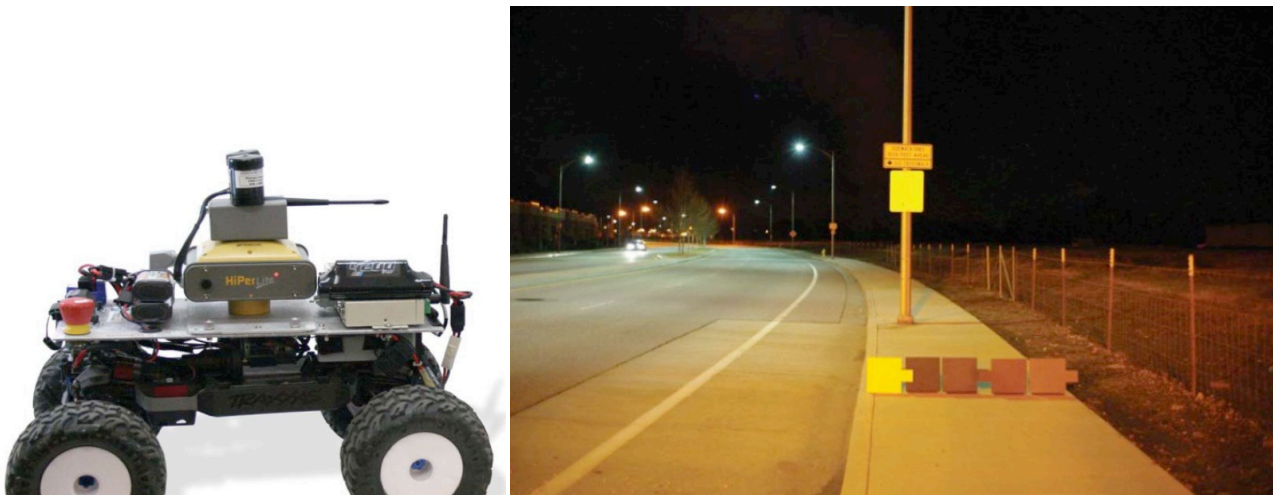


Figura 2. A sinistra, il robot Scotty per misure telecomandate dell'illuminamento lungo le strade. A destra, alcuni piccoli oggetti di diversi colori, mostrati sotto la luce ai vapori di sodio a bassa pressione, impiegati nella misurazione della distanza di discriminazione sotto apparecchi illuminanti diversi.

### **Raleigh, North Carolina, USA**

Raleigh può servire come esempio per le città che stanno considerando progetti d'illuminazione a LED sia per la qualità e l'entità delle esperienze fatte, sia per le lezioni inaspettate, come il fatto che l'illuminazione di uno dei parchi cittadini abbia resistito a un tornado che ha provocato ingenti danni. A partire dal 2007, è stata tra le prime città a installare illuminazione a LED, evidenziando risparmi energetici sul lungo periodo e migliore mantenimento del flusso luminoso. I primi test effettuati avevano mostrato buoni risultati; gli ultimi test mostrano risultati molto migliori in termini di qualità della luce, risparmio energetico e periodo di payback. I primi test sono documentati da 4 anni, con ottimi risultati sia in termini di performance luminosa che di gradimento: le persone hanno addirittura affermato che le nuove sorgenti risultavano più luminose rispetto alle precedenti, mentre il flusso emesso era minore dell'11%.

### **Beaverton, Oregon, USA**

Uno studio sul campus Nike ha mostrato l'utilità di controlli adattivi basati su sensori termici che individuano la presenza di pedoni. Di notte le luci venivano regolate a 4200lm: quando un pedone veniva individuato, l'output veniva aumentato fino a 9380lm. I sensori potevano essere regolati per far funzionare le sorgenti alla massima potenza per un periodo di tempo variabile tra 30 secondi e 30 minuti: il settaggio di base, nella dimostrazione, è stato di 10 minuti. La Fig. 3 mostra un diagramma del funzionamento nelle 24 ore di uno dei pali installati: un apparecchio LED a piena potenza, quando venivano individuati i pedoni, impiegava circa 0,6 A, e meno di 0,2 A per il resto del tempo. Come riferimento, le lampade esistenti a ioduri metallici consumavano una corrente di 1 A per tutta la notte. La dimostrazione ha stimato un risparmio di circa 745kWh annui per ciascun apparecchio.

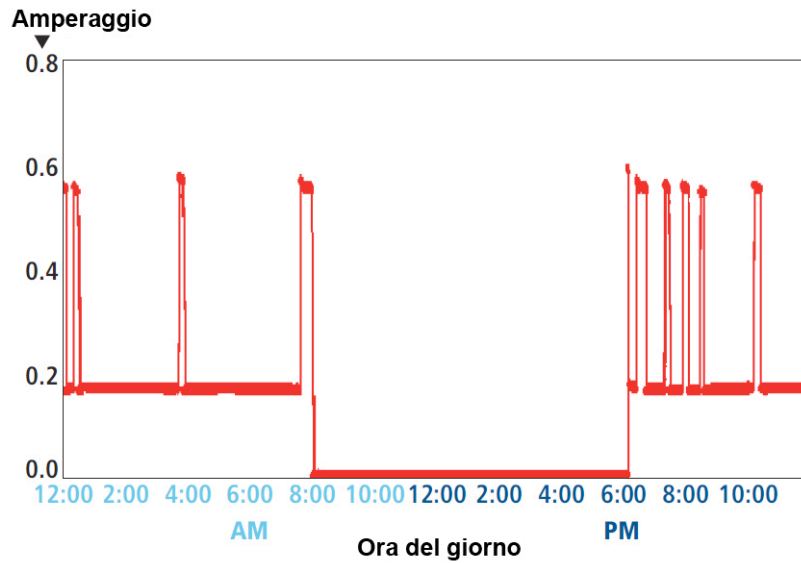


Figura 3. Funzionamento di un apparecchio LED nelle 24h nel parcheggio del campus Nike.

### Chula Vista, California

La città di Chula Vista ha attrezzato un'area di prova (Fig. 4) in cui l'illuminazione è regolata secondo una complessa strategia di dimmeraggio effettuata tramite controlli adattivi, che regolano 4 tipi di apparecchi LED diversi. Dopo aver confrontato il funzionamento di un network di tipo PLC (cablato) e di uno wireless, e aver osservato che il primo causava una eccessiva lentezza nella risposta, è stata scelta la seconda soluzione. Gli apparecchi illuminanti vengono accesi con un flusso luminoso limitato al tramonto, e al calare progressivo dell'illuminamento dovuto alla luce naturale il loro flusso viene gradualmente aumentato fino a raggiungere il 100% di emissione. A mezzanotte viene ridotto fino al 50%, per poi essere riportato al massimo all'inizio dell'ora di punta mattutina.





Figura 4. Planimetria della zona occupata dal progetto pilota e apparecchi LED impiegati.

## Studio di fattibilità: il caso L'Aquila

La città di L'Aquila rappresenta una realtà particolarmente interessante, che richiama alcuni degli esempi precedentemente riportati. È città storica, di rilevante interesse culturale e nota per le sue abitudini raffinate e colte, popolata da una cittadinanza chiusa, schiva, amante della propria realtà e difficilmente incline ai cambiamenti. È città sovrastata dalle montagne, con clima rigido in inverno e tendenzialmente fresco in estate, posata su una faglia attiva, non nuova a disastri causati da terremoti e movimenti della terra, oggi distrutta dal terremoto, ma soprattutto in "crisi di identità": sarà di nuovo la città che (culturalmente) era, o è destinata a scomparire?

In questo contesto, che si è ritenuto opportuno specificare, si deve ambientare lo studio il cui obiettivo è definire la fattibilità, e forse più la sensatezza, di un intervento di innovazione strategica all'interno di un ambiente urbano complesso.

### Le origini

L'area geografica comprendente l'Abruzzo e il Molise risulta già abitata nel Paleolitico inferiore. La cultura appenninica fiorisce nell'età del Bronzo sviluppando, oltre all'agricoltura, la pastorizia. Il millennio antecedente alla nascita di Cristo è caratterizzato dalla presenza di diversi gruppi sociali. Nel III sec. a.C. la conquista romana avviene a prezzo di alcune drammatiche sconfitte e di alleanze con i numerosi gruppi locali, ma nel IV sec. a.C. Roma riesce a insediarsi stabilmente nella regione; fu fondata Amiternum, e già nel II sec. l'Abruzzo viene attraversato dalla via Valeria, principale arteria di collegamento con Roma. Dopo la caduta dell'Impero Romano, la regione accende le mire espansionistiche di chi, attraverso essa, cerca un punto di raccordo tra nord e sud Italia. Amiternum visse un periodo di grande decadenza fino a scomparire definitivamente nel X sec. Il territorio viene inglobato nel longobardo Ducato di Spoleto. dopo l'anno mille si ha una rinascita economica con l'arrivo dei Normanni. Si assiste al fenomeno dell'incastellamento. Nel 1229 gli abitanti dei castelli del territorio decidono di ribellarsi alle vessazioni dei baroni feudali. Rivoltisi a Papa Gregorio IX, ottengono, l'anno successivo, il permesso di Federico II per la costruzione di una nuova città. La tradizione vuole che siano stati novantanove castelli a contribuire alla nascita della città (da cui la famosa fontana), più probabilmente il numero effettivo è di circa sessanta.

L'Aquila è una città unica (Fig. 5), essendo nata secondo un disegno armonico senza precedenti nella storia dell'architettura urbana (un caso simile, nel 1703, fu la nascita di San Pietroburgo). Costituita dall'unione di molti villaggi, fu organizzata secondo il sistema del Cardo e Decumano e ogni villaggio costruì un quartiere di dimensioni proporzionali agli abitanti dei castelli con una piccola piazza con il palazzo della famiglia chiesa e fontana, al centro del sistema infrastrutturale si lasciò una larga piazza, oggi Piazza Duomo, dove nessun palazzo signorile doveva affacciarsi, per non creare rivalità tra i castelli.

«Gridarono tutti insieme: Facciamo una città così bella

che nessun'altra nel regno le si possa paragonare » (Buccio di Ranallo, Cronache dalla fondazione dell'Aquila)



Figura 5. Pianta della città.

Nel 1259, colpevole di essere rimasta fedele alla Chiesa nella contesa tra Papato ed Impero, fu punita e rasa al suolo da Manfredi. Venne ricostruita nel 1265 per mano di Carlo I d'Angiò, chiamato in soccorso della Chiesa, minacciata dagli Svevi e dalle incursioni dei Saraceni. La città dell'Aquila riconoscente, si sottomise spontaneamente al nuovo conquistatore, riacquistando prestigio e preminenza. Nell'agosto del 1294, Celestino V emanò una Bolla con la quale concedeva un'indulgenza plenaria e universale a tutta l'umanità (il "primo" giubileo della storia), bolla ancora oggi valida, che anticipò di sei anni l'introduzione dell'Anno Santo, avvenuta per volere di Papa Bonifacio VIII nel 1300.

Nel Medioevo la città, autonoma, anche se compresa nel Regno di Sicilia, poi Regno di Napoli, (salvo un breve periodo in cui fece parte dello Stato Pontificio), fu governata da una diarchia composta dal consiglio e dal capitano regio. Durante la guerra tra i D'Angiò e gli aragonesi fu individuata come obiettivo e promessa a Fortebraccio, che la assediò per un anno, e anche se esausta e stremata ne uscì vincente: si affrancò così dal potere regio e rafforzò il suo ordinamento sociale, dando inizio ad un periodo di rinascita. Nel 1428 ricevette da Ferdinando d'Aragona il privilegio della Zecca, mentre è del 1458 l'istituzione dell'Università destinata a conseguire grande rinomanza. Il 26 novembre 1461 si verificò un violento sisma. Successivamente alla scossa principale del 26 novembre, seguì una serie di eventi sismici che si protrassero per circa due mesi, con ulteriori forti scosse il 4, il 17 dicembre, 3 e il 4 gennaio successivi. Le fonti riportano della pressoché totale distruzione di interi quartieri. Nel frattempo, il Regno di Napoli, e con esso L'Aquila, era passato agli Aragonesi. Nel 1527 la cittadinanza aquilana si ribellò all'invasore provocando la rappresaglia spagnola. Il viceré Filiberto d'Orange la devastò e la separò dal suo contado. Inoltre, inflisse una multa pesantissima, che superava ogni possibilità degli aquilani e con questo denaro contribuì alla costruzione dell'immenso Forte spagnolo sul cui portale campeggia la scritta *Ad reprimendam aquilanorum audaciam*, ovvero "per la repressione dell'audacia degli aquilani", minaccioso avviso, finalizzato a

scoraggiare ogni possibile successiva ribellione. In seguito, la città tentò faticosamente di rialzarsi, ma la sua ripresa venne rallentata dai terremoti del 1646 e del 1672, e dalla terribile pestilenza del 1656. Nel 1703 un forte sisma distrusse nuovamente la città, la popolazione la abbandonò in quanto ritenuta troppo rischiosa. Fu ricostruita dalla tenace volontà dei pochi abitanti rimasti e ripopolata per volontà di Papa Clemente XI, ma la città non riacquistò mai più l'antico splendore.

La pace di Vienna (1738) pose fine alla dominazione spagnola, successivamente la città venne occupata dai francesi. Anche questa volta, un'insurrezione provocò la reazione dei dominatori e L'Aquila venne di nuovo devastata e saccheggiata. Durante il Risorgimento gli aquilani parteciparono attivamente ai moti, sotto la guida di Pietro Marrelli, che il 20 novembre del 1860 ospitò all'Aquila, nel Convento di San Giuseppe, Mazzini in persona.

## **I terremoti**

La città dell'Aquila sorge su uno dei territori ad alta sismicità della penisola italiana e, fin dalla sua fondazione, è stata funestata molte volte da eventi tellurici. Il primo terremoto di cui si abbia notizia risale al 13 dicembre 1315, che si stima abbia distrutto la maggior parte degli edifici e ampi tratti delle mura. Morì il 10% della popolazione. La gran polvere che si alzò gravò sulla città per molto tempo, impedendo il salvataggio repentino di coloro che erano stati travolti dalle macerie. La difficile e laboriosa ricostruzione scoraggiò una parte della popolazione, che preferì tornare ai villaggi e castelli dai quali erano venuti i loro avi. Nel '700 la città fu interessata da uno sciame sismico, che culminò con un violentissimo terremoto che, ancora una volta, la rase al suolo. La prima scossa della lunga sequenza si verificò il 14 ottobre 1702, ma la maggiore venne registrata il 2 febbraio del 1703, e si stima che abbia nuovamente distrutto molti edifici. Quasi tutte le chiese e gli edifici pubblici cittadini crollarono o riportarono gravissimi danni. Si stima che nelle varie scosse che colpirono la città, quell'anno siano morte oltre 6.000 persone. La gente sopravvissuta abbandonò la città.

Il 6 aprile 2009, alle ore 3:32, dopo diversi mesi di lievi scosse localizzate e percepite in tutta la zona dell'aquilano, L'Aquila viene colpita da un terremoto di magnitudo 6.3 Mw e tra l'8° e il 9° grado di distruzione della Scala Mercalli. Il bilancio finale è stato di 308 vittime ed oltre 1.500 feriti, mentre la quasi totale evacuazione della città ha portato a 65.000 il numero degli sfollati. Il sisma ha riversato la sua forza sull'abitato e sui paesi limitrofi. Il capoluogo stesso presenta crolli anche totali in molte zone e gravissimi danni alla maggior parte degli edifici di valore storico e culturale (Fig. 6). Le chiese principali risultano gravemente danneggiate o quasi completamente crollate. Particolare rilevanza ha avuto la mancata resistenza e quindi il danneggiamento talvolta irreversibile della maggior parte degli edifici pubblici, sia antichi che moderni: il moderno polo d'Ingegneria, la prefettura (che aveva sede nel Palazzo del Governo), la Casa dello studente di via XX Settembre, l'Ospedale San Salvatore, e molti palazzi signorili del Settecento e dell'Ottocento.





Figura 6. Dopo il terremoto.



Figura 7. Dopo 18 mesi.

Dopo più di due anni dal terremoto, la ricostruzione della città è lontana. Il Centro storico è ancora disabitato. I servizi ai cittadini sono pochi, il Comune e l'Università sono stati spostati in fabbricati industriali delocalizzati e quindi di difficile raggiungimento. Nonostante le difficoltà, però, si nota la volontà di non abbandonare la città. Si passeggia lungo il Corso anche se questo non ospita che pochi bar, i commercianti hanno riaperto i loro negozi in piccole strutture temporanee. Le Amministrazioni si accusano a vicenda per la lentezza degli interventi ma dimostrano interesse per la città, ci sono progetti di notevole importanza purtroppo in attesa di risorse. Dall'aprile del 2009 ad oggi, pochi piccoli passi sono stati fatti (Fig. 8 e Fig. 9a,b,c), ma molti ancora dovranno essere compiuti per riportare la città alla vita. Interventi di restauro, certamente, vista l'importanza architettonica delle strutture presenti, ma anche, visto il contesto, interventi innovativi che possano favorire il ritorno della popolazione, per sua natura motivata a far rivivere la città, e che la possano portare ad essere esempio e simbolo non solo di un disastro, e della forza delle persone di sopravvivere, ma anche di desiderio di rinascita e di fiducia.



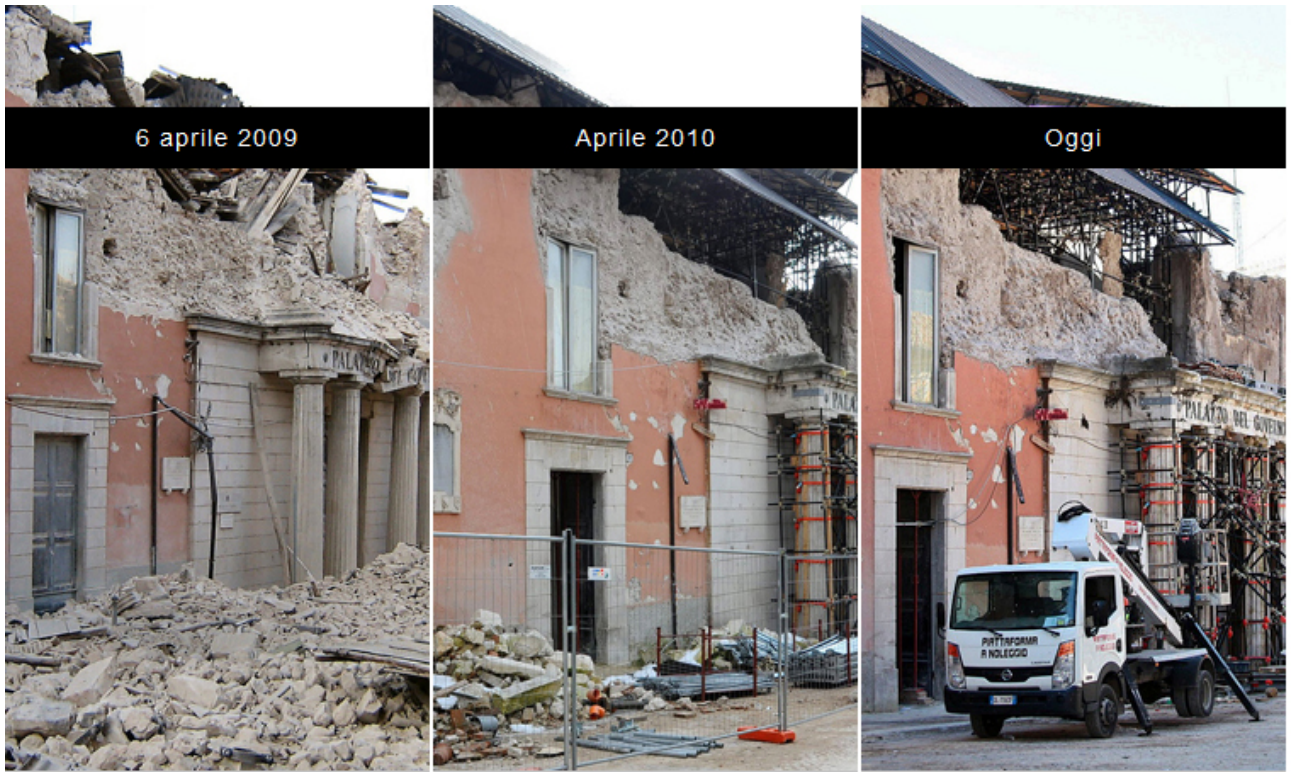


Figura 8. Evoluzione dei lavori nel centro storico.





Figura 9a,b,c. Evoluzione dei lavori nel centro storico.



## Definizione dell'area di intervento: lo "Smart Ring"

Il progetto prevede la realizzazione di uno Smart Ring di circa 4-5km di lunghezza lungo l'anello che racchiude il centro storico della città, che si compone di 4 quadranti. All'interno dell'area racchiusa è prevista la progettazione, nella piazza del Duomo, di un'installazione interattiva o infopoint o smart node che possa fare da interfaccia tra cittadino e Pubblica Amministrazione. La realizzazione dell'anello ha lo scopo di innescare un processo di ricostruzione sostenibile della città, non soltanto dal punto di vista degli edifici, ma anche del tessuto dei servizi al cittadino, del recupero di una coesione sociale e del rilancio verso un futuro produttivo compatibile con l'idea dello sviluppo sostenibile (Fig. 10).

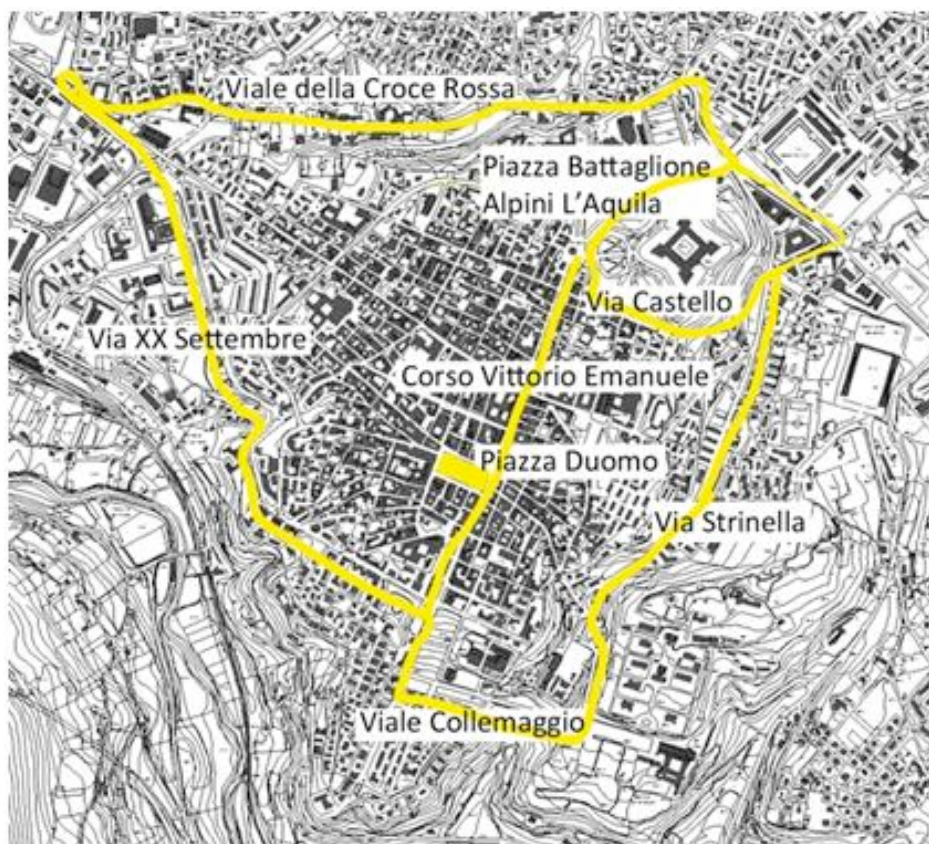


Figura 10. Rappresentazione su pianta della città dello smart ring.

Con questo intervento si vorrebbe dare un segnale di rinascita della Città, cercando di aiutare i cittadini a riprendere possesso del centro storico, andando ad intervenire nelle aree di futuro intervento come Viale della Croce Rossa, passando per il quartiere più colpito dal sisma (via XX Settembre); importante il collegamento con la Basilica di Collemaggio, alla quale la cittadinanza è molto legata; di estrema importanza Via Strinella, ad oggi uno dei due soli quartieri abitati; il Ring è inoltre attraversato da Corso Vittorio Emanuele, quindi sensibilmente collegato al percorso pedonale del centro città (Fig. 11), tutte le aree in cui dovrebbero andare a dislocarsi i nuovi centri di riferimento per la popolazione.





<b>Piani di riqualificazione</b>	1. Ex Osp. Psichiatrico 2. Caserma Rossi	<b>Impianti Sportivi</b>	1. Stadio Fattori 2. Stadio Acquasanta
<b>Aree Parco</b>	1. Parco del Sole 2. Villa Comunale	3. Piazzale Paoli 4. Parco dell'Unicef	5. Parco del Castello
<b>Scuole</b>	1. Elem. De Amicis 2. Materna S. Silvestro	3. Conservatorio 4. Ist. Industriale	5. Media Alighieri 6. Comm., IPIAS, Geom. 7. Liceo Scientifico 8. Media Carducci
<b>Edifici e utenze pubbliche e centri direzionali</b>	1. Nuova sede Provincia 2. Banca D'Italia 3. Prefettura 4. Caripe 5. BNL	6. Regione 7. Terminal ARPA, AMA 8. INPS ed Equitalia 9. Hotel Federico II 10. CarisPAQ	11. Vigili del Fuoco 12. MAP VV. FF. 13. Trib.le Minorenni 14. Cimitero 15. Questura 16. Ex INPS (Fotovoltaico) 17. Centrale distrib. ENEL 18. Centro Commerciale
<b>Monumenti di maggior pregio</b>	1. Collemaggio 2. S. Bernardino 3. Castello	4. Fontana Luminosa 5. S. Maria Paganica 6. P.zzo Margherita	7. Duomo 8. Anime Sante 9. S. Giusta 10. S. Pietro 11. S. Silvestro
<p>--- Percorso proposto per lo SMART RING</p> <p>--- Possibile asse principale mobilità studentesca: 4400 m tutti in pendenza</p> <p>--- Percorso ferroviario con stazioni (una in progetto)</p> <p>--- Perimetrazione del Centro Storico secondo delibera comunale per la ricostruzione</p>			

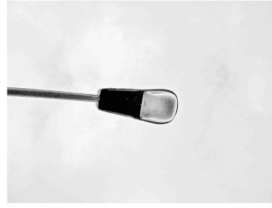
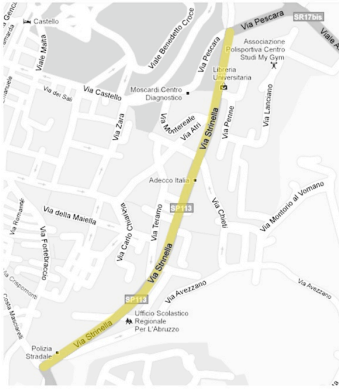
Figura 11. Rappresentazione su vista aerea dello smart ring e localizzazione (ante e post) degli edifici.

L'intervento presumibilmente partirà da Via Strinella, di servizio ad uno dei due unici quartieri abitati della città. Attraverso via Castello si collega a questo primo intervento un luogo di importanza storica, La Fortezza Spagnola, ove nascerà un teatro progettato da Renzo Piano, e l'ingresso all'area pedonale di Corso Vittorio Emanuele. Da Piazza degli Alpini, ove si trova la fontana luminosa, si raggiunge un'arteria molto importante per la città, viale della Croce Rossa, dove hanno trovato rifugio molte attività commerciali, e il Comune ha intenzione di riqualificare il quartiere anche attraverso un progetto per Piazza D'Armi. Per ricollegarsi poi a via Strinella, si percorre Via XX Settembre, quartiere moderno, ove a seguito del terremoto sono crollati molti edifici tra cui la casa dello studente, ma anche importante via di collegamento. Da qui, lungo viale Collemaggio ci si ricollega a via Strinella, incontrando il terminal degli autobus, chiudendo il Ring. Nel progetto a lungo termine sono inseriti anche Corso Vittorio Emanuele e Corso Federico II, percorso pedonale di importanza storica, luogo di incontro con un sistema di illuminazione gravemente danneggiato dal terremoto, essendo legato alle facciate degli edifici.

Dal punto di vista illuminotecnico, la volontà di riaccendere le strade dell'Aquila, ma anche l'animo dei cittadini, con il progetto "Smart Ring" trova molte motivazioni, dal far rivivere la città al ridare sicurezza alle strade. Importante, quindi, lo studio di illuminazione urbana, non solo per dare un servizio ai fruitori e un'immagine alla città, ma anche per ridare fiducia alla popolazione. A questo proposito, sembra opportuno specificare che l'impiego di nuove tecnologie e una nuova integrazione di sistemi, a tutt'oggi ancora in fase di sperimentazione e valutazione, potrebbe rivestire un ruolo di stimolo e orientamento alla crescita e allo sviluppo, termini chiave per una città che deve risorgere.

### **Analisi dello stato di fatto**

Nelle seguenti Figure (Fig. 12-17) sono riportati i tratti che compongono il Ring, con le informazioni sull'attuale stato delle strade, un'immagine del sistema di illuminazione, è un esempio rappresentativo dei valori di illuminamento misurati sulla sede stradale.



**Via Strinella**

Strada due corsie 10,5 m, parcheggi a sinistra e alcune aree a destra, marciapiedi sui due lati.

Pendenza leggera, zona residenziale con commercio.

Impianto d'illuminazione solo sulla destra

Altezza pali 10 m

Distanza dalla carreggiata di circa 1 m

45 pali, interdistanza tra 20-25 m,

Per problemi tecnici con l'interramento dei cavi i pali si devono trovare solo a destra.

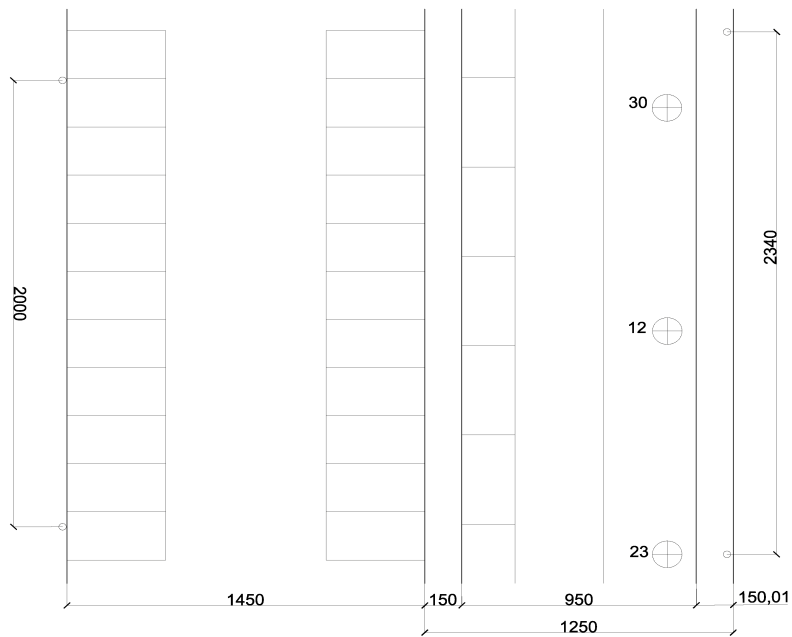
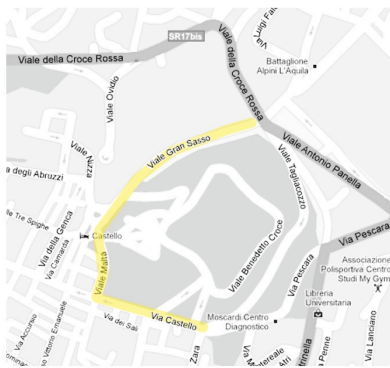


Figura 12. Via Strinella.





Via Castello  
 Strada due corsie 10,6 m,  
 parcheggi a sinistra, marci-  
 piedi sui due lati.  
 Zona residenziale a sinistra,  
 parco a destra.  
 Altezza pali 10 m, solo a  
 destra  
 23 pali sulla carreggiata  
 Interdistanza 23 m  
 Presenti alberature  
 Il parco è illuminato con  
 pali bassi senza continuità

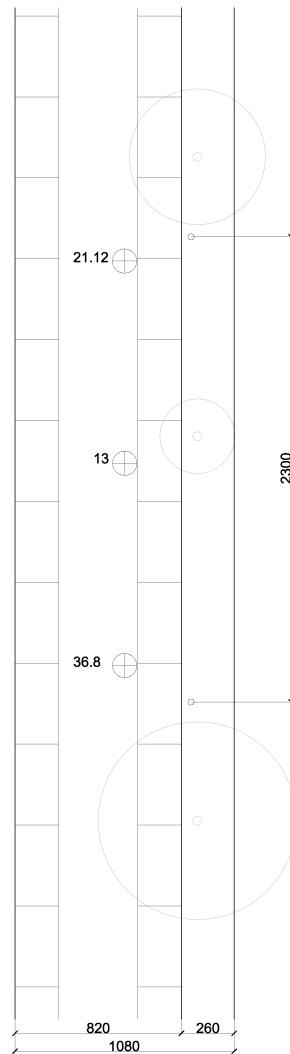


Figura 13. Via Castello.



**Fontana Luminosa**

Strada due corsie, area per parcheggi, due rotatorie, fontana, porta mura storiche, ingresso del Castello, marciapiedi sui due lati.

Impianto d'illuminazione stradale e di accento per la fontana con due proiettori su palo e uno su facciata edificio

Altezza pali 10 m

Punto focale per la presenza di alcuni riferimenti storici (Castello, mura, fontana), importanza per il traffico motorizzato, punto di accesso all'area pedonale del centro storico.

**Corso Vittorio Emanuele**

Strada pedonale con sezioni diverse.

Impianto d'illuminazione sulle facciate degli edifici per illuminazione generale e di accento.

Altezza legata alla forma degli edifici.

Presente illuminazione sotto i portici

**Piazza Duomo**

pali di 7 m 12 con 5 lampade, 4 con una sola, colore luce molto calda.

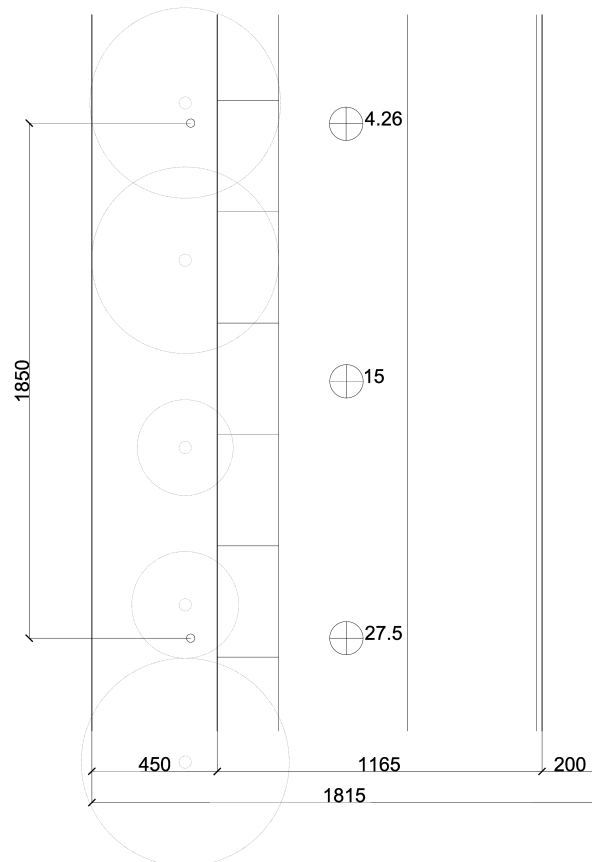
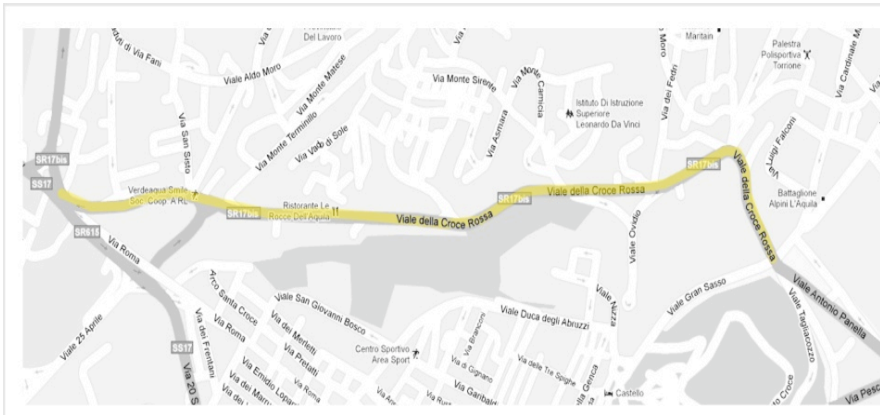


Figura 14. Corso Vittorio Emanuele, Fontana Luminosa, Piazza Duomo.



**Viale della Croce Rossa**

Strada due corsie 16,5 m, marciapiedi sui due lati.  
 Pendenza leggera, zona per commercio.  
 Impianto d'illuminazione solo su un lato, alternato.  
 Altezza pali 10 m  
 Presenza alberi al di sotto della lampada.  
 Distanza dalla carreggiata di circa 1 m  
 32 pali con Interdistanza 18 m

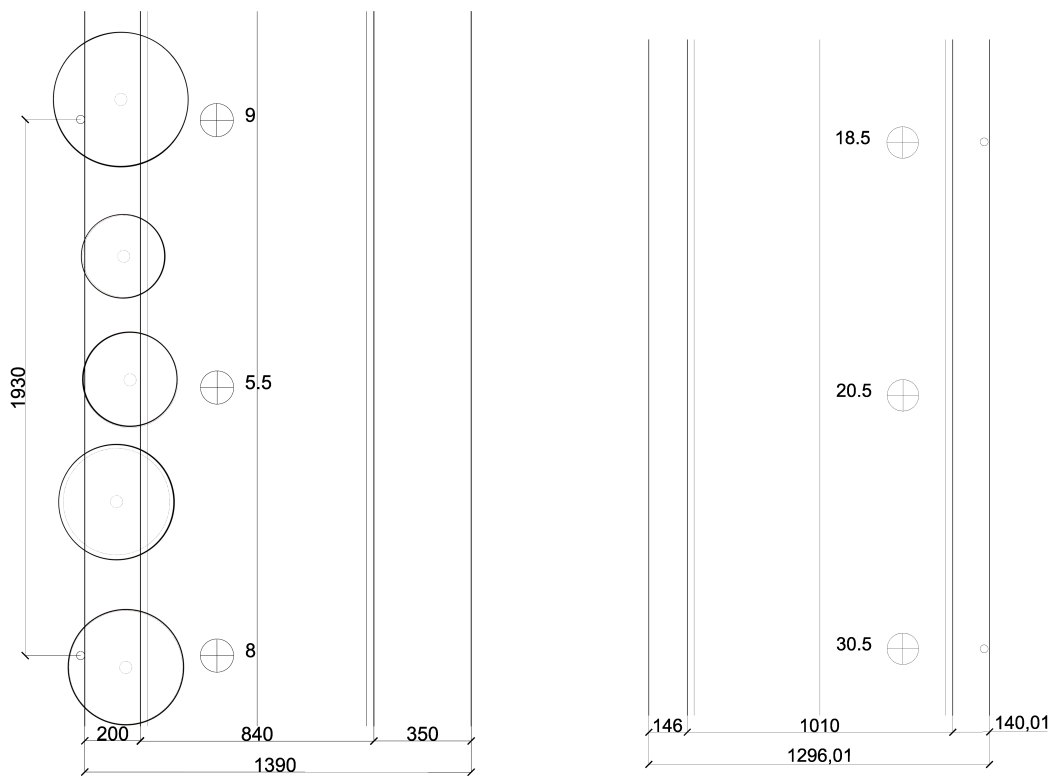


Figura 15. Viale della Croce Rossa.



**Viale Collemaggio**  
Ampio viale con due corsie di 9.2 m  
attraversa un parco scarsamente illumina-  
nato, alcuni alberi sulla carreggiata.  
26 pali alti 10m  
Marciapiede sul lato destro largo 2.7 m

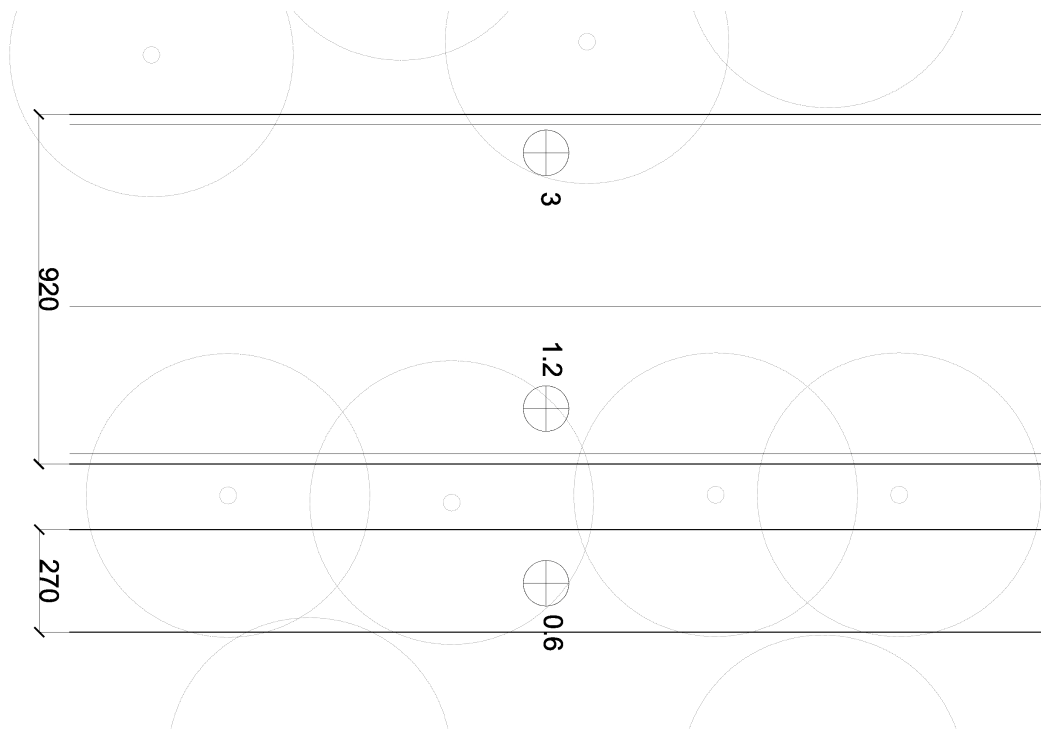


Figura 16. Viale Collemaggio.



**Via 20 Settembre**

Strada due corsie 12,5 m, marciapiedi sui due lati.  
 Pendenza leggera, zona residenziale.  
 Impianto d'illuminazione solo su un lato, alternato.  
 42 pali alti 10 m  
 Presenza alberi al di sotto della lampada.  
 Distanza dalla carreggiata di circa 1 m  
 Interdistanza pali tra 20-25 m

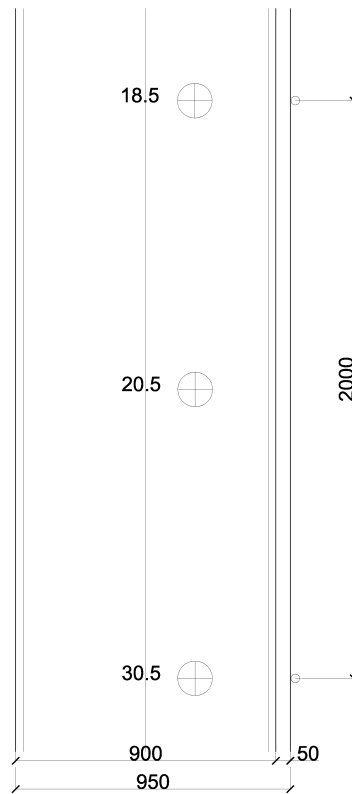


Figura 17. Via XX Settembre.

## Specifiche tecniche

Fondamentale è l'individuazione di indicazioni guida per la definizione delle scelte progettuali per l'illuminazione urbana dell'anello (ring), per indirizzare la progettazione verso il concetto di "illuminare quanto effettivamente necessario": non di più, per ragioni legate al risparmio energetico ed all'inquinamento luminoso, non di meno, per ragioni associate al rispetto delle normative vigenti e delle normali condizioni di sicurezza. In breve, i requisiti a cui il progetto deve rispondere sono i seguenti:

- adeguata illuminazione del piano stradale (e/o marciapiede) e dei suoi immediati dintorni;
- limitazione dell'abbagliamento da parte degli apparecchi illuminanti e dell'inquinamento luminoso;
- abilitazione della linea della illuminazione pubblica agli smart services;

Il conseguimento dell'obiettivo del risparmio energetico sull'illuminazione pubblica viene considerato primario, assieme agli aspetti di compatibilità ambientale e rispetto delle normative.

### *Analisi dei requisiti normativi*

L'illuminazione stradale ha lo scopo di "facilitare lo svolgimento del traffico e di consentire ai conducenti di veicoli e ai pedoni una sufficiente visibilità, durante le ore notturne, nonché la possibilità di riconoscere gli ostacoli che si presentano sul loro cammino". La quantità di illuminazione necessaria dovrà essere stimata sulla base dell'indice illuminotecnico relativo alla classificazione di tutte le strade, presente nel Piano Urbano del Traffico di Comune (se disponibile). Le normative di riferimento sono quelle relative all'illuminazione stradale e le disposizioni presenti in materia di inquinamento luminoso (qui di seguito, un elenco non esaustivo delle principali norme ed indicazioni internazionali e nazionali).

1. CIE 115 – Recommendations for the lighting roads for motor and pedestrian traffic
2. CIE 136 – Guide to the lighting of urban areas
3. CIE 126 – Guidelines for minimizing sky glow
4. CIE 27 – Photometry of luminaries for street lighting
5. CEI 43-21 – Apparecchi di illuminazione: prescrizioni generali
6. CEI 34-33 – Apparecchi di illuminazione stradale
7. UNI 11248 Illuminazione stradale – selezione delle categorie illuminotecniche
8. UNI EN 13201 – 1 Illuminazione stradale – Requisiti prestazionali
9. UNI EN 13201 – 2 Illuminazione stradale – Calcolo delle prestazioni
10. UNI EN 13201 – 3 Illuminazione stradale – Metodi di misura e delle prestazioni fotometriche
11. UNI 10819 – Requisiti per la limitazione del flusso luminoso verso l'alto
12. UNI EN 40 – Sostegni per l'illuminazione stradale: dimensioni e tolleranze

### *Individuazione dei sistemi*

Le condizioni di adeguata illuminazione, risparmio energetico, compatibilità ambientale, integrazione nell'ambiente architettonico e rispetto delle normative vigenti saranno assicurate attraverso:

- l'utilizzo di lampade ad alta efficienza, che garantiscono una elevata trasformazione della potenza impegnata in flusso luminoso;
- l'utilizzo di apparecchi illuminanti stradali della tipologia cut-off, che garantiscono una corretta distribuzione del flusso luminoso sulla sede stradale, assicurando al tempo stesso un migliore utilizzo del flusso dal punto di vista energetico e una minore dispersione del flusso in termini di inquinamento luminoso;
- l'utilizzo di sistemi di telegestione e telecontrollo, che incrementano la capacità di controllo e manutenzione, con la possibilità di gestire il singolo punto luce aumentando il risparmio energetico, contenendo l'inquinamento luminoso ed ambientale, e prolungando la vita media degli impianti di illuminazione;
- un'ottimizzazione della procedura progettuale, per cui i sistemi di illuminazione non dovranno essere oggetti avulsi dal contesto, bensì parte integrante di esso.

Il rispetto di queste indicazioni nell'elaborazione delle possibili soluzioni progettuali avrà come conseguenze:

- il miglioramento della qualità dell'illuminazione
- l'abbattimento del rischio di inquinamento luminoso e ambientale
- la riduzione dei consumi energetici
- una gestione funzionale degli apparati di illuminazione (riduzione dei costi di gestione e manutenzione).

### *Indicazioni progettuali*

Nell'impostazione progettuale, sarà necessario classificare la zona destinata al traffico, secondo quanto previsto dalla norma UNI 11248, e quindi definirne la categoria illuminotecnica di progetto.

In fase progettuale sarà necessario in generale prevedere l'utilizzo di lampade ad alta efficienza luminosa, l'adeguamento di sistemi altamente inquinanti, l'utilizzo di apparecchi di illuminazione cut-off, il contenimento dell'intensità luminosa nell'emisfero superiore, l'utilizzo di regolatori di flusso luminoso e di sistemi programmabili di accensione/spegnimento. L'ottimizzazione dell'iter progettuale sarà orientata alla massimizzazione del rapporto interdistanza-altezza palo, alla minimizzazione della potenza installata per km di strada, alla minimizzazione dei costi di installazione, di esercizio e di manutenzione, compatibilmente con il rispetto delle condizioni precedentemente poste e dei sistemi utilizzati.

Ogni accorgimento teso a migliorare le prestazioni ambientali/energetiche dovrà essere considerato premiante. Altre indicazioni progettuali:

- Per un buon risparmio energetico le lampade dovranno essere di avanzata tecnologia ed elevate prestazioni, e quindi almeno del tipo HID (High Intensity Discharge) a vapori di sodio ad alta pressione, o meglio ad alogenuri metallici. Queste soluzioni assicurano bassi livelli di inquinamento luminoso emesso e tempi di vita relativamente lunghi (variabili a seconda della tecnologia).
- La scelta della tecnologia LED sarà comunque da considerarsi preferibile, viste le ottime prestazioni (durata di vita attorno alle 50000 ore, efficienza intorno ai 100 lm/W, eccellente controllabilità, con possibilità di dimming, accensione immediata, scelta del colore) e le ottime prospettive che tale tecnologia promette;
- Laddove alla progettazione del ring venisse associata la riqualificazione di strade secondarie, è possibile prevedere un intervento di retrofitting per le strade "secondarie", con impiego di sorgenti HID, con più breve payback period, e lasciando l'intervento "innovativo" per la strada principale, facente parte del ring;
- La scelta della sorgente dovrà combinarsi con la scelta di apparecchi illuminanti di tipo cut-off, cioè un apparecchio conforme alle prescrizioni tecniche di emissione degli impianti secondo i regolamenti regionali per la riduzione e prevenzione dell'inquinamento luminoso, di tipo stradale, con distribuzione del flusso luminoso (curva fotometrica) che garantisca il minimo impatto sull'ambiente. Nella scelta dell'apparecchio più efficiente è prioritaria la forma della curva sul piano  $C=0^\circ - C=180^\circ$ , con intensità luminosa verso il basso sufficiente ad ottenere il livello di illuminamento richiesto, ad angoli più elevati maggiore, per soddisfare l'aumento di distanza tra sorgente luminosa e superficie, e da circa  $70^\circ$  in poi praticamente nulla (cut-off).
- L'altezza degli apparecchi (o centri luminosi) deve tenere conto della larghezza della strada da illuminare. Tale altezza è un compromesso tra l'esigenza di collocare i centri luminosi più in alto possibile, ottenendo una riduzione dell'abbagliamento ed un'elevata uniformità, e l'esigenza invece di abbassare il centro luminoso per ottenere una migliore utilizzazione del flusso luminoso emesso dall'apparecchio senza avere un eccessivo impatto dal punto di vista ambientale.

### *Indicazioni progettuali per il sistema di controllo*

Dovrà essere previsto un sistema di telecontrollo con dimmerazione punto-punto del flusso luminoso per garantire risparmi energetici significativi, ridurre l'inquinamento atmosferico e luminoso, garantire un buon livello di comfort e permettere l'integrazione successiva di smart services che richiedono la presenza del dato digitale a livello del singolo palo. Il sistema di telecontrollo dovrà pertanto implementare strategie di riduzione del flusso luminoso di ogni punto luce e l'on/off ottimizzato degli impianti sulla base delle classificazioni delle strade e dei relativi flussi di utenza (veicoli, pedoni). Il sistema di telecontrollo dovrà garantire un notevole incremento delle prestazioni del servizio di manutenzione sia dal punto di vista della qualità che dei costi. Dovrà essere dotato di un sistema automatico di rilevamento, localizzazione e segnalazione dei guasti o inefficienze (lampade, reattori, dispersioni, sfasamenti, prelievi abusivi, ...) per garantire una elevata qualità del servizio attraverso la segnalazione immediata del guasto. Dovrà fornire in tempo reale tutte le informazioni sullo stato degli impianti (attraverso un ambiente GIS) in modo da consentire interventi di manutenzione mirati, misurare l'effettiva resa dei componenti installati, dei tempi d'intervento e l'efficacia del servizio offerto. Infine dovrà provvedere alla stabilizzazione dell'impianto per aumentare la durata delle lampade riducendo il numero di ore equivalenti di funzionamento in modo da



garantire la diminuzione del numero di sostituzioni annue. I costi generali di manutenzione possono così ridursi stabilmente a percentuali anche al disopra del 50%.

Come tecnologia di riferimento per la trasmissione dei dati e delle regolazioni del telecontrollo punto-punto è consigliata la tecnologia delle onde convogliate (PLC) in quanto, oltre ad essere competitiva rispetto alle altre soluzioni, dà la possibilità di integrare “pali intelligenti” per la trasmissione di dati a banda larga come potrebbero essere segnali di telecamere ed applicare metodi innovativi di controllo adattivo o integrazione di futuri servizi smart che richiedono banda larga digitale sul palo senza costi aggiuntivi di trasmissione e cablaggio.

### **Ipotesi di bozza progettuale**

Ad oggi, non sono note molte delle indicazioni necessarie per l'esecuzione di un progetto a norma. Sotto queste condizioni, non è possibile sviluppare un progetto, ma si possono fare delle ipotesi, per verificare se alcune soluzioni possono considerarsi attuabili. Una delle ipotesi principali che vengono qui poste, consiste nell'imporre in fase di progettazione lo stesso numero di pali attualmente presenti, con la stessa altezza di ciascun palo e la medesima interdistanza. Quello che si cerca cioè di fare, è quello di ottenere un'ipotesi progettuale in cui il nuovo sistema sia in grado di sostituire completamente il sistema attualmente esistente, cercando così di minimizzare i costi di intervento. Nell'ipotesi di bozza progettuale, si prendono come esempio due tipologie di strade (Via Atri e Via Teramo fanno parte di un anello minore all'intero dello smart ring):

- una strada da considerarsi come “principale” (Via Strinella)
- due strade secondarie (Via Atri e Via Teramo)

In questo caso, è stata fatta una rapida indagine per individuare quali fossero le possibili soluzioni a LED per l'illuminazione stradale. Da una serie di verifiche eseguite attraverso software commerciale, si è constatato che, nonostante la mancanza di informazioni, si possono ottenere risultati sufficientemente accettabili per questa fase, e sicuramente migliorabili nelle successive fasi di progettazione.

Di seguito vengono riportati alcuni valori, in particolare luminanza e illuminamento, per la corsia e per una zona di parcheggio, sia per le strade secondarie che per la strada principale.

Per le strade secondarie:

strada secondaria (via Atri)

<b>Centro corsia</b>	<b>Min (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Max (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Med (A) (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Luminanza	0,77	1,02	0,87	75,2	87,8
<b>Parcheggio</b>	<b>Min (lux)</b>	<b>Max (lux)</b>	<b>Med (A) (lux)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Illuminamento	3,5	26,4	11,6	13,1	29,8

Strada secondaria (via Teramo)

<b>Centro corsia</b>	<b>Min (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Max (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Med (A) (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Luminanza	0,44	0,95	0,66	45,6	65,9
<b>Parcheggio</b>	<b>Min (lux)</b>	<b>Max (lux)</b>	<b>Med (A) (lux)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Illuminamento	1,9	23,7	8,7	8,0	21,9

Strada principale (via Strinella)

<b>Centro corsia</b>	<b>Min (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Max (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Med (A) (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Luminanza (cd/m <sup>2</sup> )	0,76	0,82	0,79	92,1	95,4
<b>Parcheggio</b>	<b>Min (lux)</b>	<b>Max (lux)</b>	<b>Med (A) (lux)</b>	<b>Min/max [%]</b>	<b>Min/med [%]</b>
Illuminamento (lux)	4,9	8,3	6,4	59,4	76,8

Norme di riferimento: EN 13201:2003 "Road Lighting"; UNI 11248:2007 "Illuminazione stradale: selezione delle categorie illuminotecniche"

Il numero di pali ipotizzato è di:

- 20 per la strada principale, con interdistanza di circa 21,5mt e altezza del punto luce pari a 8mt;
- 4 per la strada secondaria (via Atri), con interdistanza di circa 40mt e altezza del punto luce pari a 7mt;
- 10 per la strada secondaria (via Teramo), con interdistanza di circa 30mt e altezza del punto luce pari a 7mt.

Le sorgenti utilizzate per le simulazioni sono LED bianchi con temperatura di colore approssimativamente pari a 4000 K.

Di seguito, si riportano dei render di quello che potrebbero essere le strade dell'anello attraverso l'impiego dei sistemi considerati. Le immagini hanno solo un ruolo indicativo (Fig. 18-21).



Figura 18. Via della Croce Rossa



Figura 19. Piazza Duomo



Figura 20. Via Collemaggio

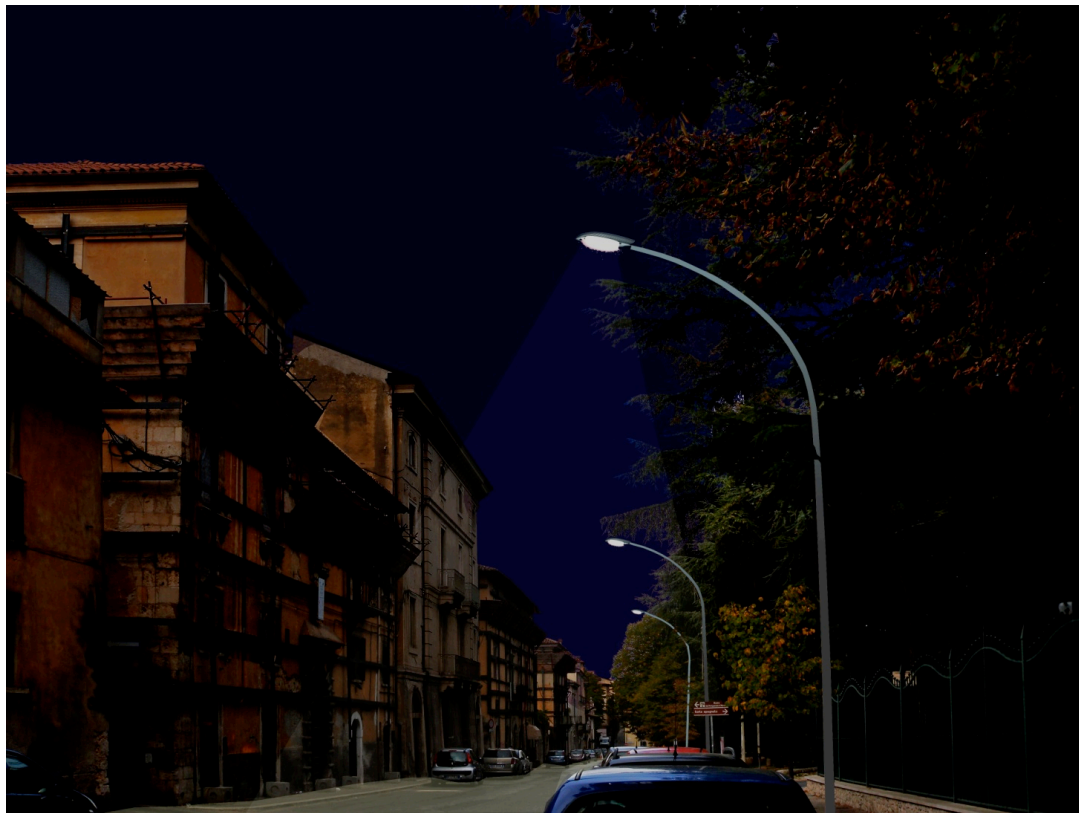


Figura 21. Via Castello

## Valutazione energetica ed economica

In totale assenza di informazioni utili sull'impianto attuale, si è proceduto attraverso l'introduzione di opportune ipotesi cautelative, in modo che la valutazione energetica e la stima dei consumi attuali e futuri, nel caso di installazione di un sistema di illuminazione LED del tipo previsto nella bozza progettuale, sia sufficientemente verosimile. In particolare, si è ipotizzato che l'impianto attualmente esistente sia costituito da sorgenti a vapori di sodio ad alta pressione ciascuna pari a 150W di potenza, per un numero di pali installati su un percorso di circa 6 km di circa 230 pali e un impegno di potenza approssimativamente di 34.5kW.

Con la sola sostituzione delle sorgenti, da sodio a LED, si passa quindi da una potenza attuale di 150 W a 115W per sorgente, per un totale di circa 26.5kW installati, e un risparmio pari a circa il 23%. In fase progettuale e successivamente realizzativa, senza particolari sovraccosti si può pensare di prevedere un sistema di stabilizzazione, che migliora il sistema (secondo quanto detto nel Cap. II) introducendo un ulteriore risparmio sulla potenza complessivamente installata, con un risparmio complessivo che può essere quantificato (con adeguati margini cautelativi) nell'ordine del 31%.

Il maggiore vantaggio che si può ottenere dall'impiego delle sorgenti LED deriva però dalla successiva possibilità di introdurre un rigoroso controllo del flusso luminoso in emissione, che può essere ridotto fino al 50% nelle ore di minor utilizzo delle strade. Peraltro, le ore in cui si effettua il controllo del flusso sono più del 50% delle ore effettive di accensione, con un importante ulteriore abbassamento dei consumi, che può arrivare ad essere quantificato pari a circa il 43%, secondo ipotesi largamente cautelative. Esperienze fatte in altre realtà (come nei casi studio precedentemente analizzati) mostrano come sia possibile arrivare ad ottenere risparmi fino al 50%.

Considerando poi la nuova installazione, e le finalità poste di realizzare un sistema innovativo ed integrato per l'illuminazione, il controllo e la comunicazione, la possibilità di prevedere un aumento della complessità del sistema di regolazione, attraverso l'introduzione di un sistema adattivo porta a prevedere un potenziale aumento dei risparmi nei consumi a valori verosimilmente maggiori, ed ipotizzabili attorno al 60%.

L'aumento di complessità del sistema comporta degli inevitabili sovraccosti (comunque contenuti in sede di realizzazione di un nuovo impianto) che però introducono dei risparmi sia di tipo energetico che di tipo economico-gestionale legati alla manutenzione e alla sicurezza dell'impianto, fornendo contestualmente un servizio migliore ed innovativo alla cittadinanza. La banda larga su cui viaggiano le informazioni permette infatti un ulteriore abbassamento dei costi di manutenzione perché permette la comunicazione in tempo reale di guasti, agevolando la programmazione degli interventi.

Dal punto di vista dei conti economici, un singolo elemento costituito da apparecchio illuminante con LED e autoregolazione, palo di sostegno, interfaccia per regolazione punto-punto, ha costo approssimativo dell'ordine di 1700-2700€, a seconda delle soluzioni che offre il mercato, cui si deve aggiungere il costo (unico, in questo caso) del sistema di tele gestione e software, che complessivamente hanno un costo dell'ordine di 20000-25000€.

La spesa totale orientativa per il sistema intero ed integrato (230 elementi) è pertanto dell'ordine di 400000-620000€, a cui possono aggiungersi spese complementari, come l'installazione e il posizionamento di telecamere. A questo, bisogna aggiungere come considerazione conclusiva, che essendo un progetto sperimentale, e di grandi dimensioni, tali costi potrebbero subire delle alterazioni anche sostanziali, dovute

alla convenienza di potenziali partner ad essere inseriti nel progetto, per cui la cifra precedentemente riportata potrebbe subire modifiche anche importanti.

In chiusura, un cenno a quello che potrebbe essere il payback period. Stanti le conoscenze attuali, è quantità di difficile stima, in quanto legate alla previsione di vita di sistemi attualmente in fase sperimentale. Ciononostante, tali sistemi vengono presentati con durata di vita di almeno 50000 ore, che porterebbe ad una sicurezza nel ritorno dell'investimento, mentre un valore verosimile per il payback period si attesta, sulla base delle precedenti esperienze, nell'ordine dei 10-15 anni.

## Centro ricerca ENEA: smart village

Dal 1959 il Centro Ricerche della Casaccia è sede di studi sull'energia. Nel tempo si è passati da CNRN fino all'odierno ENEA, ma è rimasto il significato di Ente Pubblico come punto di riferimento per la ricerca. L'ENEA studia e applica le sue ricerche. La possibilità di studiare un progetto "Smart" applicato ad un ambito di minori dimensioni come quello del Centro Ricerche permette di analizzare e sperimentare le innovazioni tecnologiche avendo però la completa disponibilità di dati e informazioni più precise rispetto ad una città. Le caratteristiche della Smart City si adattano molto bene al progetto Smart Village.

Il percorso che sarà oggetto di progettazione ed eventualmente realizzazione è costituito dall'anello esterno del CRE, e potenzialmente dal percorso interno evidenziato in Fig. 22 in giallo.

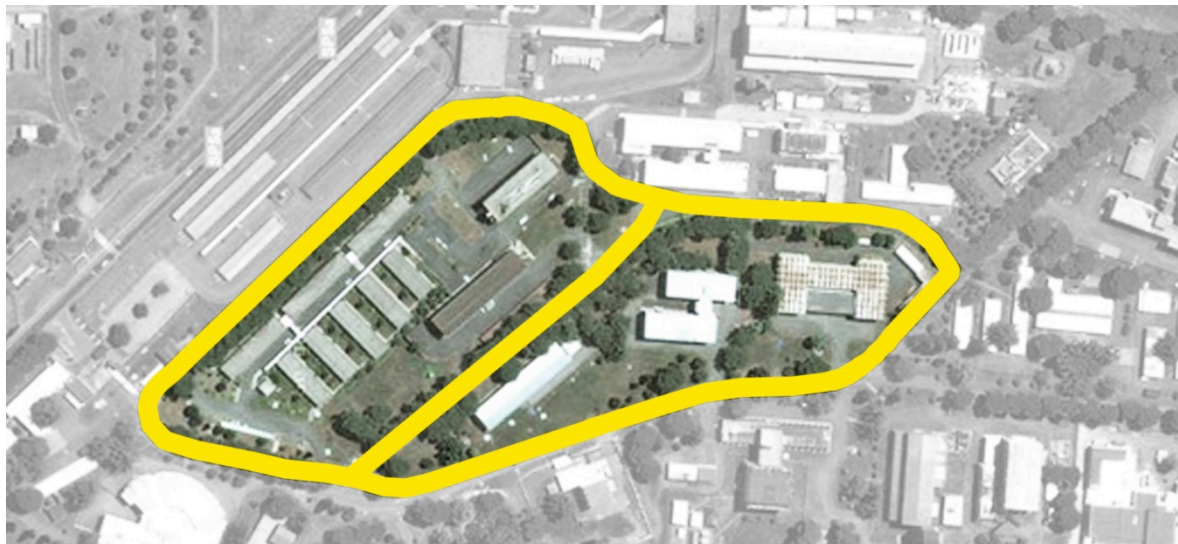


Figura 22. Ipotesi di anello smart, CRE.

Il percorso è così costituito (informazioni di dettaglio):

Viale Ingressi: Sezione 6,20 m, alberi a sinistra. Percorso da navetta interna. 10 pali singoli. Illuminazione a sinistra, distanza del palo dalla carreggiata 2m, altezza sorgente 8,55m, interdistanza pali 25m. Sul lato destro impianto di illuminazione del parcheggio adiacente.

Viale principale vecchio ingresso – bivio F 40: Sezione 6,4m, presenza di alberi. Percorso dalla navetta interna. 18 pali singoli, illuminazione a destra, ultimi 4 pali a sinistra, distanza dalla carreggiata 2m, altezza sorgente 8,55m, interdistanza 24m.



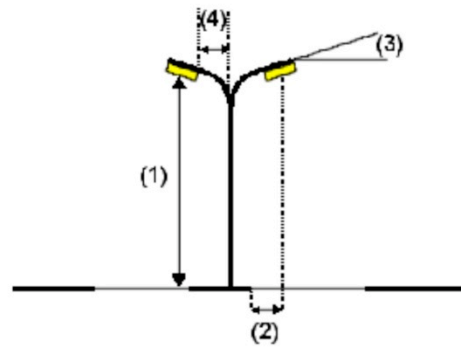
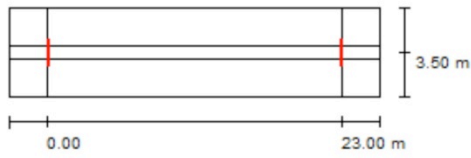
Viale F 40: Sezione 6,5m, alberi a sinistra e destra. Percorso da veicoli di servizio. 4 pali singoli, 1 palo singolo basso, illuminazione a destra, distanza dalla carreggiata 2m, altezza sorgente 8,55m, interdistanza 26m

Viale F 40 – mensa: Sezione due corsie di circa 4 m ciascuna con spartitraffico 1m, alberi nello spartitraffico, 9 pali doppi al centro della strada, interdistanza 22,7m

Viale F21 – nuovo ingresso: Sezione 6m, 5 pali singoli, illuminazione a sinistra, altezza sorgenti 8,55m.

Il sistema che potrebbe essere realizzato, sicuramente meno esigente in termini di requisiti illuminotecnici rispetto alle esigenze di un'illuminazione stradale urbana, consentirebbe di sviluppare in modo concreto tutte le verifiche e le attività di ricerca sia sugli effetti di un'illuminazione innovativa, come quella a LED, sia di sperimentare gli effetti e le applicazioni di un sistema integrato che contempli gli aspetti di regolazione (eventualmente) associata a mobilità, sicurezza, etc.

Dal punto di vista delle ipotesi progettuali, si è verificata l'applicabilità di sistemi commerciali a LED, sotto l'ipotesi che non sia possibile variare l'attuale distribuzione dei pali. Dalle simulazioni effettuate emerge che esistono sistemi in grado di soddisfare a questa richiesta, con la possibilità peraltro di integrare sistemi di comunicazione di differente complessità. Nelle immagini seguenti, sono riportati alcuni esempi di sistemi considerati, simulazioni svolte (grandezza rappresentata: illuminamento) e relativi render, ed infine verifica del rispetto dei requisiti normativi (Fig. 23-25).

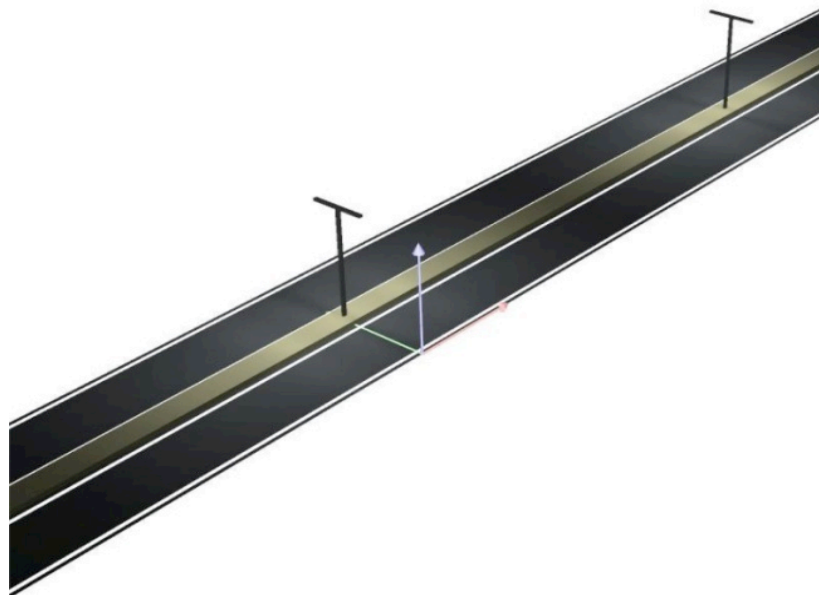


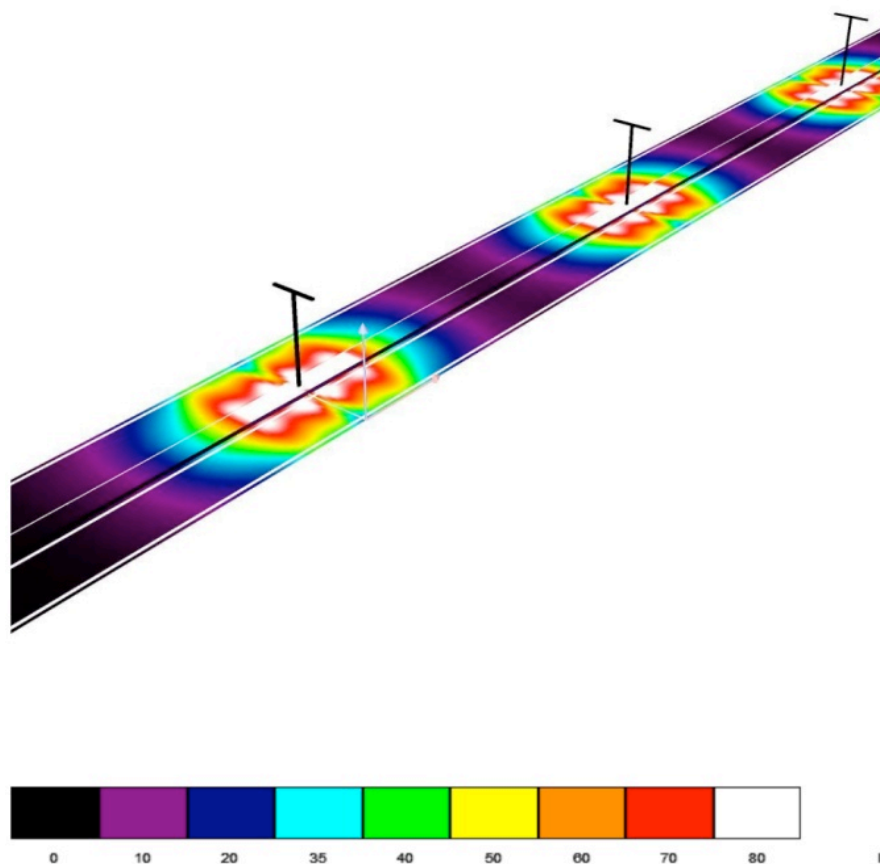
### 8 LED 100W

Potenza lampade: 100.0 W  
 Disposizione: su mezzeria  
 Distanza pali: 23.000 m  
 Altezza di montaggio (1): 4.600 m  
 Altezza fuochi: 4.510 m  
 Distanza dal bordo stradale (2): 0.164 m  
 Inclinazione braccio (3): 0.0 °  
 Lunghezza braccio (4): 0.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa  
 per 70°: 90 cd/klm  
 per 80°: 31 cd/klm  
 per 90°: 1.40 cd/klm

Nessuna intensità luminosa superiore a 90°.  
 La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G5.  
 La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.





Campo di valutazione Carreggiata 1 & Carreggiata 2

Lunghezza: 23.000 m, Larghezza: 7.000 m

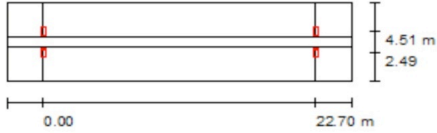
Reticolo: 10 x 5 Punti

Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata 1, Mezzeria 1, Carreggiata 2.

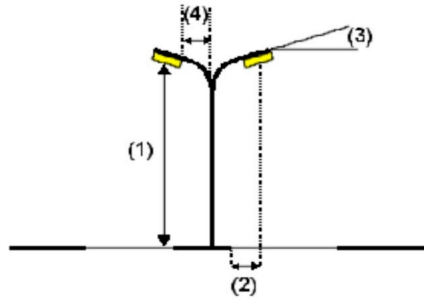
Classe di illuminazione selezionata: S3 (Non tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]
Valori nominali secondo la classe:	33.0	5.3
Rispettato/non rispettato:	$\geq 7.5$	$\geq 1.5$
	<span style="color: red;">✗</span> 1	<span style="color: green;">✓</span>

Figura 23. Ipotesi illuminazione 1, CRE.

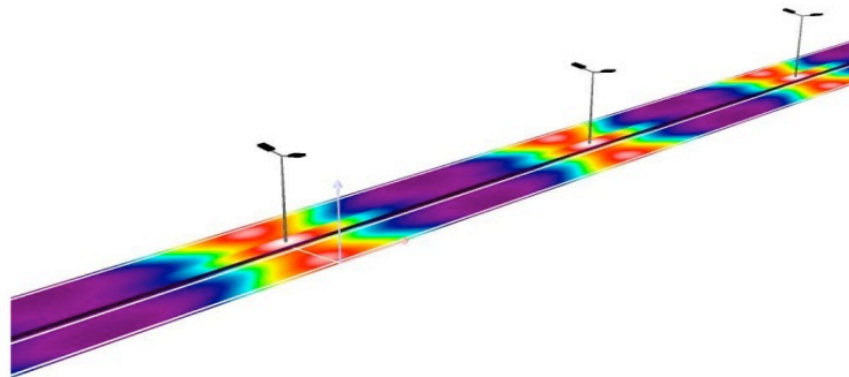


Potenza lampade: 121.7 W  
 Disposizione: su mezzeraia  
 Distanza pali: 22.700 m  
 Altezza di montaggio (1): 5.000 m  
 Altezza fuochi: 5.128 m  
 Distanza dal bordo stradale (2): 0.833 m  
 Inclinazione braccio (3): 10.0 °  
 Lunghezza braccio (4): 1.005 m



Valori massimi dell'intensità luminosa  
 per 70°: 684 cd/klm  
 per 80°: 77 cd/klm  
 per 90°: 8.29 cd/klm

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G3.  
 La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.



Campo di valutazione Carreggiata 1  
 Lunghezza: 22.700 m, Larghezza: 3.000 m  
 Reticolo: 10 x 3 Punti  
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata 1.  
 Classe di illuminazione selezionata: S3

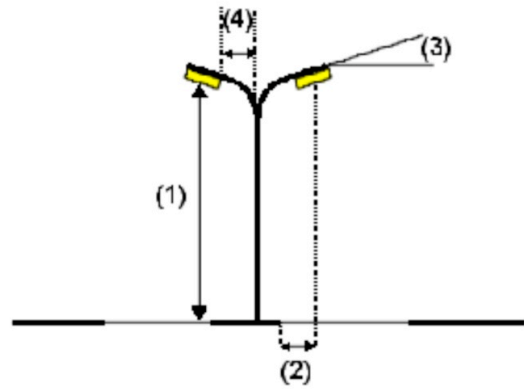
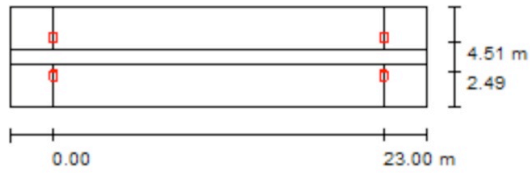
(Non tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:  
 Valori nominali secondo la classe:  
 Rispettato/non rispettato:

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]
30.4	8.6
$\geq 7.5$	$\geq 1.5$
<b>X</b> 1	<b>✓</b>

<sup>1</sup> Attenzione: Per garantire una certa uniformità, il valore effettivo dell'illuminamento medio non deve superare di 1,5 volte il valore minimo previsto per la classe.

Figura 24. Ipotesi illuminazione 2, CRE



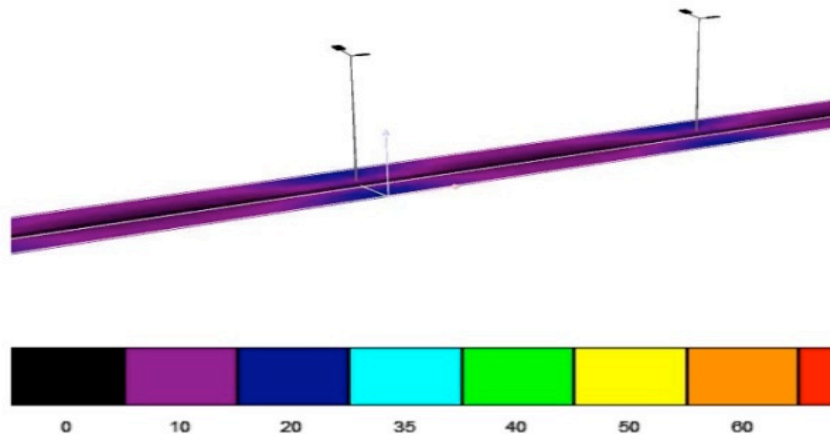
Lampada: 60 LED  
 Potenza lampade: 75.0 W  
 Disposizione: su mezzeria  
 Distanza pali: 23.000 m  
 Altezza di montaggio (1): 8.550 m  
 Altezza fuochi: 8.608 m  
 Distanza dal bordo stradale (2): 0.833 m  
 Inclinazione braccio (3): 10.0 °  
 Lunghezza braccio (4): 1.005 m

Valori massimi dell'intensità luminosa  
 per 70°: 465 cd/klm  
 per 80°: 87 cd/klm  
 per 90°: 9.50 cd/klm

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G3.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.





Campo di valutazione Carreggiata 1  
 Lunghezza: 23.000 m, Larghezza: 3.000 m  
 Reticolo: 10 x 3 Punti  
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata 1.  
 Classe di illuminazione selezionata: S3

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:  
 Valori nominali secondo la classe:  
 Rispettato/non rispettato:

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]
10.9	6.0
$\geq 7.5$	$\geq 1.5$
✓	✓

Figura 25. Ipotesi illuminazione 3, CRE.

## Valutazione energetica ed economica

In assenza di informazioni utili sull'impianto attuale, si è proceduto attraverso l'introduzione di opportune ipotesi cautelative in analogia a quanto fatto per il caso studio della città di L'Aquila. In particolare, si è ipotizzato che l'impianto attualmente esistente sia costituito da sorgenti a vapori di sodio ad alta pressione ciascuna pari a 150W di potenza, per un numero di pali installati su un percorso di circa 1.5 km di circa 40 pali e un impegno di potenza approssimativamente di 6kW.

Come per il caso precedente, con la sola sostituzione delle sorgenti, si ottiene un risparmio pari a circa il 23%, che può poi essere migliorato ulteriormente prevedendo un sistema di stabilizzazione (risparmio cautelativo nell'ordine del 31%) ed eventualmente un sistema di regolazione complesso (ulteriore abbassamento dei consumi, che può arrivare ad essere quantificato pari a circa il 43% e in questo caso addirittura maggiore, non essendo strade urbane), con controllo adattivo (risparmi ipotizzabili attorno al 60%).

L'aspetto in questo caso più rilevante, è che un'installazione di questo tipo ed in questo particolare ambiente consentirebbe l'effettuazione di una molteplicità di studi e di attività di ricerca che consentirebbe l'ampliamento delle conoscenze e la possibilità di arrivare alla realizzazione di proposte progettuali di sistemi smart decisamente all'avanguardia, rappresentando un elemento di payback decisamente rilevante (il payback period si attesta, come riportato precedentemente, su valori di 10-15 anni).

Dal punto di vista dei conti economici, un singolo elemento costituito da apparecchio illuminante con LED e autoregolazione, palo di sostegno, interfaccia per regolazione punto-punto, ha costo approssimativo dell'ordine di 1700-2700€, a seconda delle soluzioni che offre il mercato, cui si deve aggiungere il costo (unico, in questo caso) del sistema di tele gestione e software, che complessivamente hanno un costo dell'ordine di 20000-25000€. A questo, bisogna aggiungere come considerazione conclusiva, che essendo un progetto sperimentale, tali costi potrebbero subire delle alterazioni anche sostanziali, dovute alla convenienza di potenziali partner ad essere inseriti nel progetto, per cui la cifra precedentemente riportata potrebbe subire modifiche anche importanti.

## Riferimenti bibliografici

Art Valley Association, "Le città intelligenti. Scrivendo un manuale di citymatica per amministratori lungimiranti e cittadini esigenti", Art Valley Association 2010

Forcolini G. , "Lighting", Milano, Ed. Hoepli, Milano 2004

Bianchi F.; Pulcini G. , "Manuale di illuminotecnica", Ed. La Nuova Italia Scientifica, Roma 1995

Bonomo M., "Guida alla progettazione dell'illuminazione stradale e urbana", Ed. Mancosu, Roma 2006

Fellin L., Forcolini G., Palladino P., "Manuale di illuminotecnica - AIDI Associazione italiana di illuminazione", Ed. Tecniche Nuove, Milano 1999

Antinucci M., "Efficienza dell'illuminazione pubblica: i vantaggi per la Pubblica Amministrazione", 2009

Forcolini G., "Illuminazione di Esterni", Hoepli, Milano, 1993

G. Held, "Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications", CRC Press, Broken Sound Parkway (NW), 2009

E. F. Schubert, "Light Emitting Diodes", II Edition, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 2006

Cecchini L., "Il telecontrollo nell'illuminazione stradale", in "Luce & Design", Maggio 2006

REVERBERI Enetec, "Regolatori di flusso luminoso e sistemi di Telegestione"

Giacomelli M. Matteo Bosisio M., "Powerline communication: potenzialità e criticità del sistema, tecnologie attuali e prospettive di sviluppo future", tesi di laurea del Politecnico di Milano relatore Francesco Castelli Dezza a.a.2007-08

TERNA, "Previsioni della domanda elettrica in Italia e del fabbisogno di potenza necessario, anni 2007 – 2017", 30 Settembre 2007

Archibugi F., "L' 'asse attrezzato' del PRG di Roma del 1965: un eccellente studio di caso per una appropriata teoria critica della pianificazione", atti del convegno sull'asse attrezzato di Roma (PRG Roma 1965) promosso dalla Fondazione Bruno Zevi, Roma, Accademia di San Luca, 8 Marzo 2006

Tural M., Yener C., "Lighting monuments: Reflections on outdoor lighting and environmental appraisal", in Building and Environment 41 (2006), p. 775–782

F. Mirand, "Navigating uncharted waters: new challenges in specifying LED luminaire lifetime", LED Magazine maggio/giugno 2010; pp: 25-30

Serefhanoglu Sozen M., "Progettare la luce", Luminous international lighting magazine luglio 2009, pp: 42-45

Pepe L., Motta M., "Luce per la misura urbana", Luce e design ottobre 2006, pp: 66-72

Ricci A., "Illuminazione stradale e urbana: quale futuro?", Luce e design giugno 2011, pp: 60-70

LEGAMBIENTE, "Indagine nazionale sull'efficienza nell'illuminazione pubblica: Facciamo piena luce", Marzo 2006 Comune di Ragusa, Settore IX° - "Servizio di pubblica illuminazione"

CONFINDUSTRIA, "Proposte per il Piano Nazionale di Efficienza Energetica", Luglio 2007



## **Normativa:**

UNI EN 13201-1, Luce e illuminazione: Misurazione e presentazione dei dati fotometrici di lampade e apparecchi di illuminazione, Gennaio 2005

UNI EN 13201-2, Illuminazione stradale: Requisiti prestazionali, Settembre 2004

UNI EN 13201-3, Illuminazione stradale: Calcolo delle prestazioni, Settembre 2004

UNI EN 13201-4, Illuminazione stradale: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche, 2004

UNI 10819, Luce e illuminazione - impianti di illuminazione esterna - requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso, 1999

UNI 10439, Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato, 1999

UNI 10419, Regolazione degli aspetti illuminotecnici, 1996

UNI 11248, Illuminazione stradale: Selezione delle categorie illuminotecniche, Ottobre 2007

UNI U29.00.043.0, Applicazione in ambito stradale dei dispositivi regolatori di flusso luminoso

## **Siti Web consultati:**

<http://sectie.ewi-vlaanderen.be>

<http://ec.europa.eu>

<http://www.smart-cities.eu>

<http://www.autorita.energia.it>

<http://www.conrad.de>

<http://acme.com/planimeter>

<http://www.umpi.it>

<http://www.legambiente.eu>

<http://www.enel.it>

<http://www.terna.it>

<http://www.reverberi.it>

<http://www.philips.it>

<http://www.osram.it>

<http://www.ecolamp.it>

<http://www.irem.it>

<http://www.cielobuio.org>