



Ricerca di Sistema elettrico

Design sustainable interiors:  
lighting and wellbeing.  
Relazione Attività A. Il Futuro Della Casa:  
Scenari Correlati All'Illuminazione E Alla  
Sostenibilità Ambientale,  
Socio-Economica Ed Energetica

Autori: M. Rossi, D. Casciani, F. Musante

DESIGN SUSTAINABLE INTERIORS: LIGHTING AND WELLBEING. RELAZIONE ATTIVITÀ A. IL FUTURO DELLA CASA:  
SCENARI CORRELATI ALL'ILLUMINAZIONE E ALLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, SOCIO-ECONOMICA ED  
ENERGETICA

M. Rossi, D. Casciani, F. Musante (Politecnico di Milano, Dipartimento di Design, Laboratorio Luce)

14 Marzo 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"

Progetto: D.5 "Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nella illuminazione pubblica ed in ambienti confinati"

Obiettivo: C "Human Centric Lighting"

Responsabile del Progetto: : Nicoletta Gozo, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Design Sustainable Interiors: Lighting And Wellbeing*"

Responsabile scientifico ENEA: Simonetta Fumagalli

Responsabile scientifico Politecnico di Milano: Prof. Maurizio Rossi

## Indice

1	L'ILLUMINAZIONE NEL RESIDENZIALE IN ITALIA E IN EUROPA .....	6
1.1	IL MERCATO DOMESTICO .....	16
2	COMPORTAMENTI VOLTI AL CAMBIAMENTO IN TERMINI DI RISPARMIO ENERGETICO .....	19
3	TENDENZE ECONOMICHE E SOCIALI .....	23
3.1	PROIEZIONI ABITATIVE .....	23
3.2	RAPPORTO CON LA TECNOLOGIA .....	23
3.2.1	<i>Sensori indossabili e automonitoraggio</i> .....	24
3.3	IL POTENZIALE DELLA TECNOLOGIA SSL NELL'ILLUMINAZIONE DOMESTICA .....	25
3.4	I SISTEMI DOMOTICI PER L'ILLUMINAZIONE DOMESTICA .....	25
3.5	SMART LIGHTING VS ENERGY SMART .....	29
4	CHE COSA SI INTENDE PER SMART-HOME .....	33
4.1	REVISIONE DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA: SMART-HOME VS WELLNESS.....	36
4.2	SMART HOME: SENSORI .....	39
4.3	PRESENZA IN CASA E RILEVAZIONE SONNO.....	40
4.4	IMPLEMENTAZIONE DI UNA ILLUMINAZIONE ADATTATIVA PER LA CASA CIRCADIANA .....	45
4.5	CASO STUDIO: ADAPTIVE CIRCADIAN HOUSE – HONDA SMART HOME US.....	47
5	CASO STUDIO: CONTROLLO DEL SISTEMA DI ILLUMINAZIONE IN UNA SMART-HOME.....	50
5.1	RILEVAMENTO DEL SONNO.....	52
5.2	RILEVAMENTO DELLE PERSONE.....	54
6	ALIMENTAZIONE DC NELLE ABITAZIONI PER L'ILLUMINAZIONE.....	54
7	ILLUMINAZIONE E ANZIANI .....	58
7.1	LIVELLI DI ILLUMINAMENTO.....	58
7.2	SENSIBILITÀ ABBAGLIAMENTO.....	58
8	ILLUMINAZIONE DOMESTICA PER IL RAGGIUNGIMENTO DEL BENESSERE .....	60
8.1	STUDI SULL'ALBA ARTIFICIALE E SULLA LUCE PER IL RISVEGLIO .....	61
8.2	CONCLUSIONI PROVVISORIE SULLA LUCE NEL DOMESTICO E BENESSERE .....	71
9	INTRODUZIONE AGLI SCENARI FUTURIBILI DI ILLUMINAZIONE DOMESTICA SOSTENIBILE.....	71
9.1	ILLUMINAZIONE PER IL BENESSERE.....	73
9.1.1	<i>Illuminazione esperienziale bio-adattiva</i> .....	74
9.2	ILLUMINAZIONE E SOSTENIBILITÀ .....	75
9.3	CAMBIAMENTI TECNOLOGICI RADICALI O INCREMENTALI .....	76
10	SCENARI .....	78
10.1	SCENARIO 1: DIY GOOD LIGHT .....	78
10.1.1	<i>Parole chiave</i> .....	78
10.1.2	<i>Descrizione</i> .....	78
10.1.3	<i>Concept</i> .....	82
10.1.3.1	Good Lights' app (1 – 2 - 3).....	83
10.1.3.2	LEDinaire (6 - 5).....	83
10.1.3.3	GoodNightlight (4 – 7).....	85
10.2	SCENARIO 2: SMART STAYWELL LIGHT .....	86
10.2.1	<i>Parole chiave</i> .....	86
10.2.2	<i>Descrizione</i> .....	86
10.2.3	<i>Concept</i> .....	89
10.2.3.1	StayWell Lighting.....	90

10.2.3.2	Plug and play light (1 + 2).....	91
10.2.3.3	Follow me light (3 + 4 + 6).....	91
10.2.3.4	Canopy of lighting (5) .....	91
10.3	SCENARIO 3: MAKE YOUR NEGAJoule LIGHT .....	92
10.3.1	<i>Parole chiave</i> .....	92
10.3.2	<i>Descrizione</i> .....	92
10.3.3	<i>Concept</i> .....	94
10.3.3.1	Negajoule App e System (1 + 2 + 3 + 4).....	94
10.4	SCENARIO 4: ACTIVE LIGHT .....	95
10.4.1	<i>Parole chiave</i> .....	95
10.4.2	<i>Descrizione</i> .....	95
10.4.3	<i>Concept</i> .....	97
10.4.3.1	Smart Micro Grid (1 + 2 + 3).....	97
11	REFERENZE BIBLIOGRAFICHE.....	98



## 1 L'illuminazione nel residenziale in Italia e in Europa

I trend recenti vedono un costante aumento delle abitazioni residenziali e della richiesta di comfort individuale all'interno dell'ambiente domestico<sup>1</sup>. Secondo i dati dell'Agenzia del territorio<sup>2</sup>, nel 2011, il patrimonio immobiliare italiano era costituito da circa 69 milioni unità immobiliari. Ad esclusione del patrimonio immobiliare pubblico, solo una parte è rilevante ai fini del risparmio energetico (si escludono le categorie catastali C6 ovvero stalle, scuderie, rimesse e autorimesse, le categorie F ovvero aree urbane, unità collabenti, in corso di costruzione, in corso di definizione, lastrici solari). I diagrammi di Figura 1 e Figura 3 mettono in evidenza il peso degli immobili privati rispetto agli immobili del settore terziario sul territorio italiano sia in termini numerici sia in termini di superficie<sup>3</sup>: questo ha un peso anche sull'impatto energetico degli stessi.

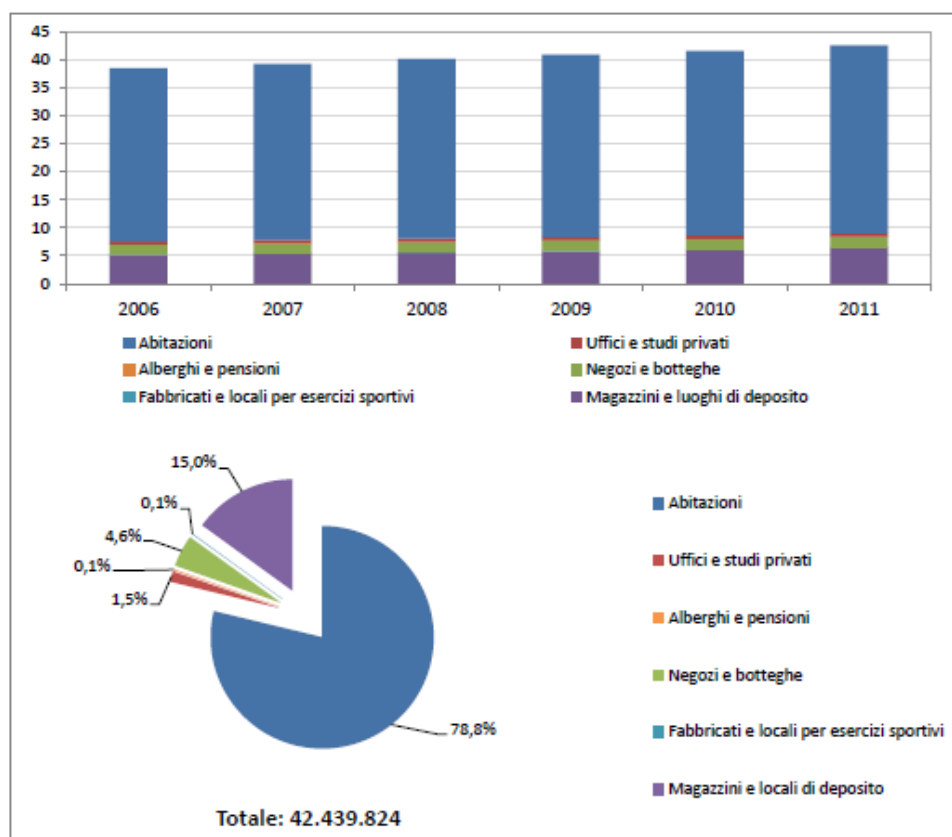
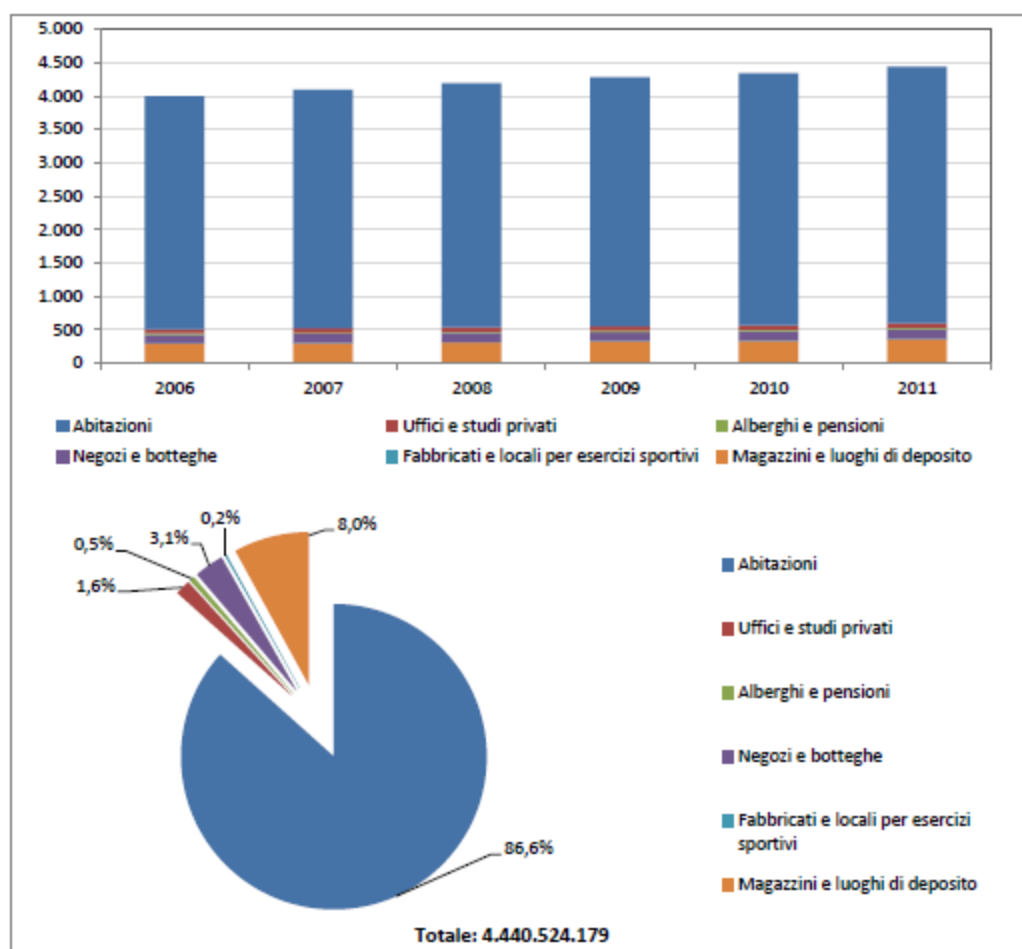


Figura 1 - Patrimonio immobiliare privato italiano in termini di consistenza numerica - Fonte ENEA



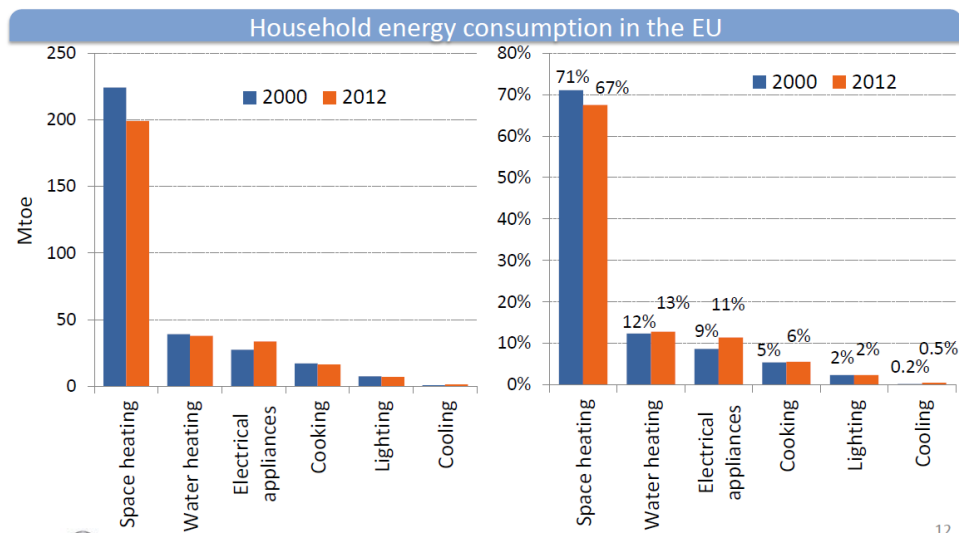
**Figura 2 Patrimonio immobiliare privato italiano in termini di estensione superficiale - Fonte ENEA**

Il ritmo di miglioramento dell'efficienza energetica è diminuito dall'inizio della crisi economica in molti paesi Europei: 1,5% all'anno in media per il settore domestico a livello Europeo (dal 2008) contro l'1,9% all'anno dal 2000 al 2008. L'utilizzo di energia elettrica infatti sta aumentando nella maggior parte dei paesi, nonostante la recessione economica: questo è dovuto all'utilizzo crescente di nuovi apparecchi quali dispositivi informatici correlati allo sviluppo di Internet e di nuovi tipi di telecomunicazione, nonché alla diffusione dell'aria condizionata. Si utilizzano oggi molte più apparecchiature elettroniche anche di piccole dimensioni rispetto agli elettrodomestici tradizionali e questo aumenta l'uso dell'energia elettrica. Se il numero crescente di abitazioni e apparecchi contribuisce ad aumentare il consumo energetico domestico, il loro effetto è tuttavia controbilanciato dai miglioramenti dell'efficienza energetica.<sup>4</sup> Risulta essenziale dunque contribuire ad una riqualificazione energetica degli edifici esistenti e dei dispositivi che utilizzano energia elettrica in ambito domestico al fine di rendere energeticamente sostenibile le soluzioni che contribuiscono al miglioramento del comfort e dell'esperienza nelle abitazioni<sup>5</sup>.

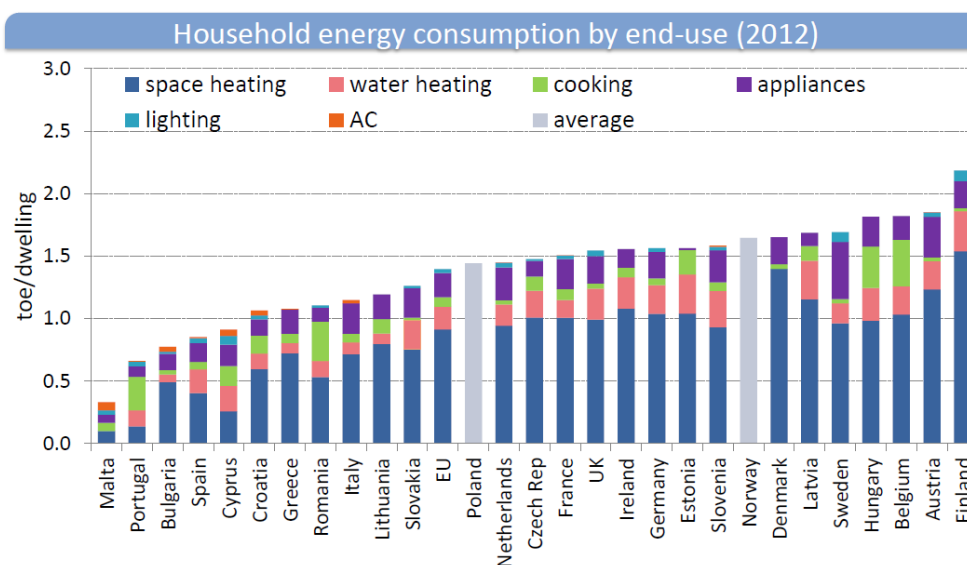
Oltre all'energia elettrica utilizzata per il riscaldamento dell'ambiente e dell'acqua, che di fatto determina il maggiore impatto nel settore residenziale (Figura 3), un ulteriore peso energetico è associato all'utilizzo delle apparecchiature elettroniche e alla difficile sostituzione delle stesse con dispositivi che sfruttino diverse fonti di energia. Un ulteriore elemento da considerare nel settore domestico è la periodicità del consumo energetico: la richiesta e l'utilizzo di energia elettrica varia in funzione delle ore del giorno e del mese dell'anno. Il consumo di energia elettrica di una casa può essere determinato da fatture e letture dei contatori ma purtroppo tale indicatore non fornisce informazioni specifiche sul consumo di energia elettrica associato ad ogni singolo dispositivo elettrico. Per questo motivo, il consumo energetico dei singoli apparecchi o per meglio dire della sola illuminazione è determinabile mediante modellizzazione/simulazione o attraverso tecniche di misurazione in situ.<sup>6</sup>

Alcune ricerche svolte a livello Europeo<sup>7</sup> hanno dimostrato che l'utilizzo più elevato di dispositivi elettrici e per l'illuminazione è in Svezia (pari a circa un 32% dei consumi), seguita da Malta, Cipro, Spagna, Paesi

Bassi, Italia e Slovacchia, con una quota intorno al 20%. Nei paesi baltici e Romania, l'impiego di dispositivi elettrici è molto più basso rispetto alla media europea (16% o inferiore) a causa di una minore diffusione di elettrodomestici. L'aria condizionata rappresenta ancora una quota marginale nei consumi delle famiglie, tranne che a Malta (quasi il 20%), Bulgaria, Cipro e Croazia (circa il 5%) (Figura 4).

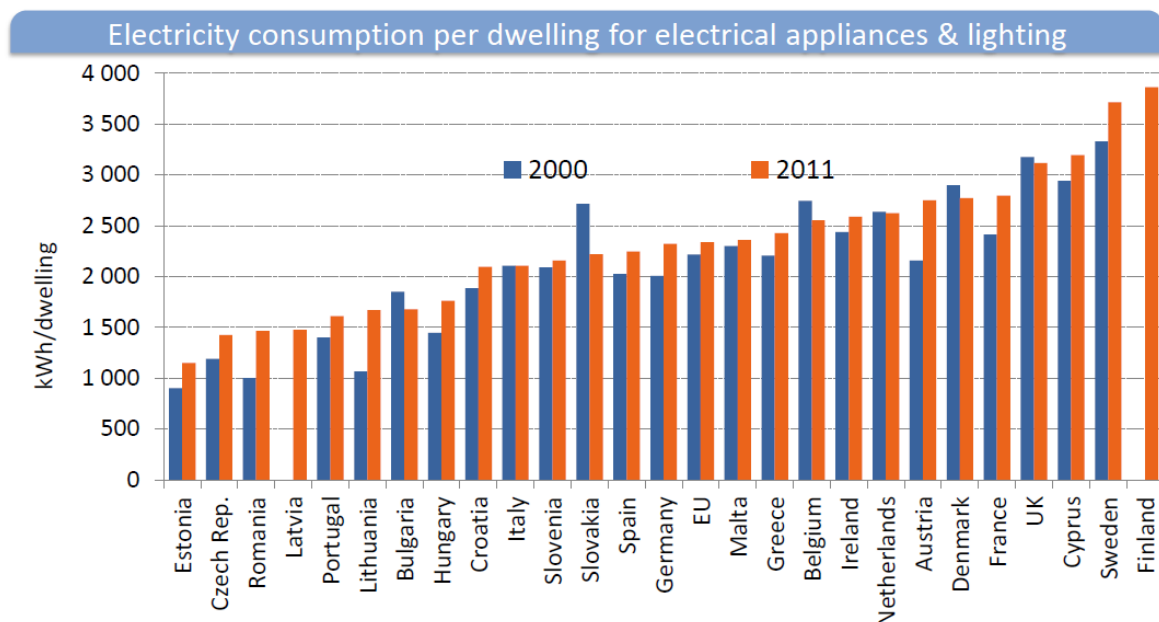


**Figura 3 – Consumo di energia nel residenziale per famiglia - Dati di Energy Efficiency Trends for households in the EU – ENERDATA 2012**



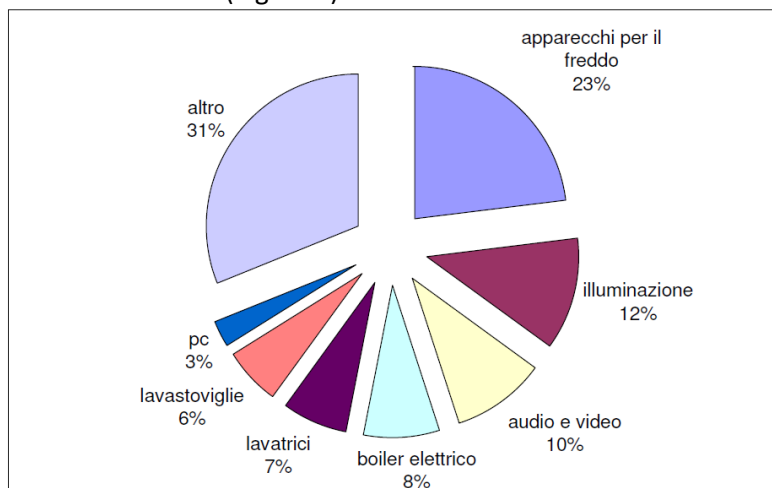
**Figura 4 - Consumo di energia nel residenziale per famiglia - Dati di Energy Efficiency Trends for households in the EU – ENERDATA 2012**





**Figura 5 - Consumo di energia nel residenziale per famiglia - Dati di ODYSEE - Energy Efficiency Trends for households in the EU – ENERDATA 2012**

Sebbene l'illuminazione sia associata alla categoria degli elettrodomestici e sia spesso difficile da scorporare nel computo energetico residenziale, alcune ricerche hanno cercato di trattare in maniera non aggregata l'impatto energetico di dispositivi di illuminazione in una casa tradizionale. Interessanti in questo senso sono stati i progetti MICENE (*Misure dei Consumi di ENergia Elettrica nel settore domestico*) ed EURECO (Energy Savings by using efficient appliances in the residential sector) che hanno analizzato in maniera disaggregata i consumi di 110 famiglie italiane ed europee (dati anni 2000-2004). Dei report disponibili, sono stati analizzati i dati relativi all'illuminazione, considerandone l'impatto generale sul resto dei consumi domestici censiti nei casi studio rilevati (Figura 6).<sup>8,9</sup>



**Figura 6 - Impatto energetico delle singole apparecchiature elettroniche – Studi MICENE e EURECO**

Secondo questi studi, all'interno delle 24 ore, il picco di richiesta elettrica si ha tra le 20 e le 22 e durante tale periodo gli usi principali sono l'illuminazione (19%), la conservazione dei cibi (17% per frigoriferi e congelatori) e l'audiovideo (14%). Sommati questi tre usi si raggiunge il 50% della potenza richiesta durante il picco.

Per quanto riguarda l'illuminazione, questi studi hanno permesso di monitorare gli apparecchi utilizzati (tempi di utilizzo e momento della giornata) e quindi i loro consumi disaggregati dal resto degli elettrodomestici. Sommando le potenze delle lampade monitorate, secondo tali ricerche, in Italia si arriva a

883W per abitazione, distribuita in circa 14 punti luce (in media) (periodo compreso tra il 2000-2004). Il consumo medio annuo misurato è pari a circa 338 kWh per abitazione. La misura è stata effettuata attraverso l'inserimento di un LAMP- METER, un dispositivo sviluppato da Enertech nelle case studio che ha permesso la misura di ciascun singolo punto luce registrando autonomamente il tempo di funzionamento (con un periodo regolabile da 1 minuto ad 1 ora), lo status di accensione o spegnimento e anche il quantitativo di volte che avviene il cambio di status.

Alcuni studi comparati più recenti hanno permesso di ottenere informazioni più precise sull'impatto energetico dell'illuminazione domestica a livello europeo. È infatti stato calcolato che, nel 2012 a livello Europeo, il consumo per l'illuminazione ha rappresentato circa il 10% del consumo totale di elettricità delle famiglie (12% nel 2000). Il consumo specifico per abitazione per l'illuminazione è diminuito dal 2000 per la metà dei paesi europei grazie alla diffusione di lampadine fluorescenti compatte e di sorgenti di illuminazione a LED (35% in Svezia, circa 30% in Francia e nel Regno Unito, circa 20% nei Paesi Bassi e la Repubblica Ceca, il 17% media europea). Si prevede che questa tendenza accelererà in futuro a causa dell'esclusione dal mercato delle lampade ad incandescenza. Le grandi differenze tra i paesi, nel consumo per l'illuminazione, sono principalmente legati a differenze nel numero di punti luce e ore di utilizzo annuali che variano in maniera sostanziale con picchi di 200 kWh/anno nella Repubblica Ceca o in Slovacchia a 900 kWh/anno in Svezia. La media europea (EU28) è stimata intorno ai 467 kWh/abitazione/anno. Questo valore medio risulta in linea con i vari studi comparati a livello europeo che hanno analizzato lo stesso parametro (Figura 7 - Figura 8 - Figura 9)

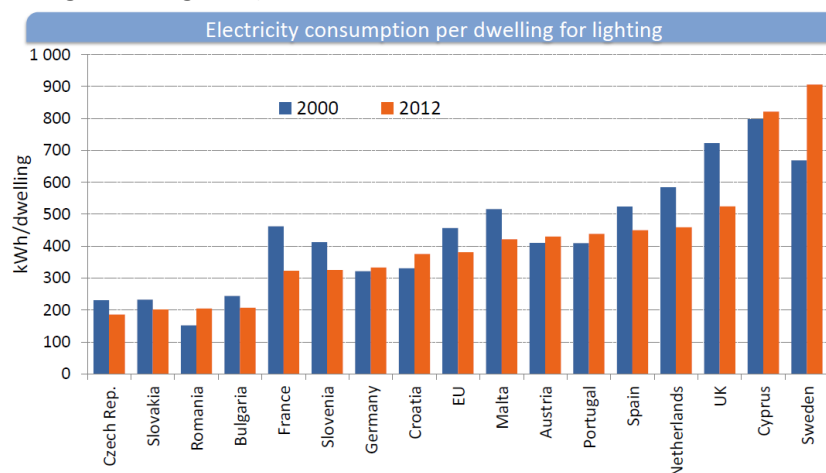


Figura 7 - Consumo annuale per l'illuminazione negli anni 2000- 2012 tra i paesi europei

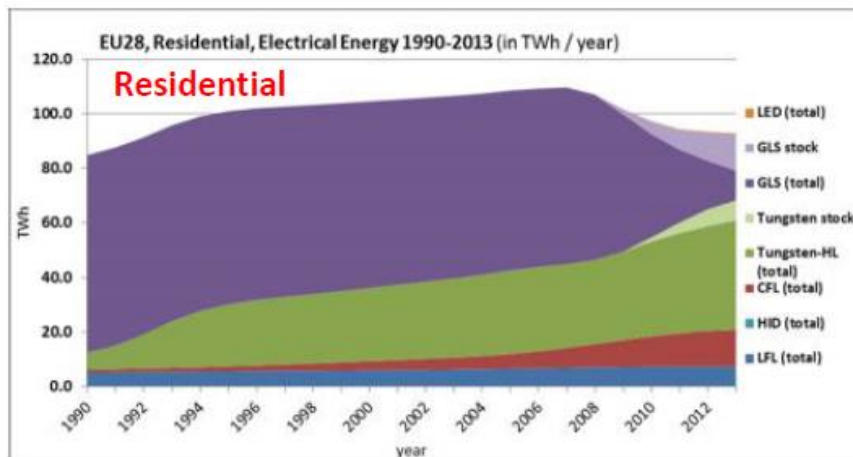
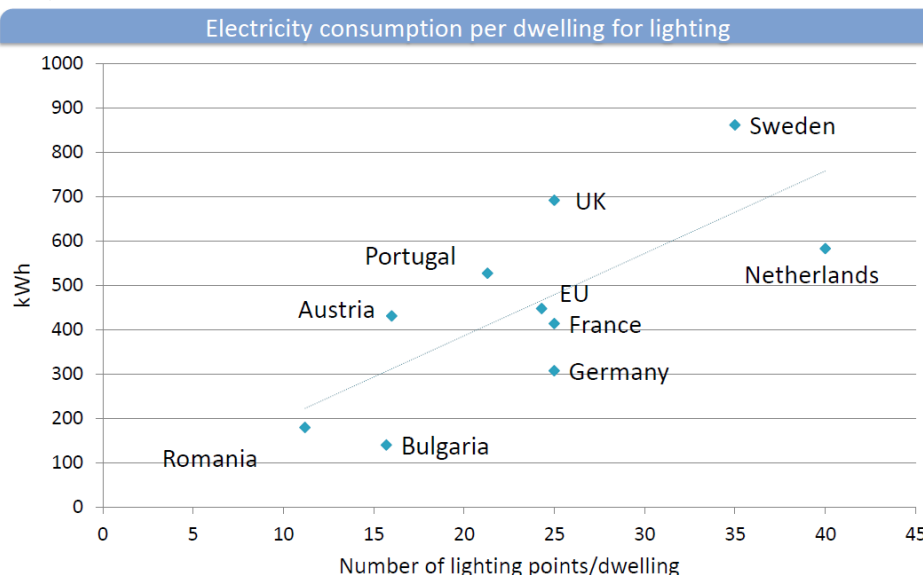


Figura 8 – Consumo energetico per l'illuminazione medio nel residenziale EU28

Source	Annual energy consumption for lighting per household (kWh/hh/year)	Lighting energy density for households (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>MELISA 2013</b>	<b>467</b>	<b>4.3</b>
<b>MELISA 2007</b>	<b>565</b>	
<b>MELISA 2000</b>	<b>553</b>	
<b>MELISA 1990</b>	<b>494</b>	
United Kingdom 2012	537	10
The Netherlands 2011	464	
Sweden 2009, houses apartments	646-937 240-691	6.7
REMODECE 2008 (12 countries)	487	
JRC, Bertoldi, 2006 (EU-28)	498	
IEA, 2006 (7 countries)	375-775	3.3-9.3
France 2003	354	3.7
EURECO 2002 (4 countries)	375-426	3.3-4.0
France 2000, CIEL	500	
Delight, 1994-1997 (19 countries)	569	3.4-12.1

**Figura 9 – Studi comparativi riguardanti il consumo annuo medio per gli stati EU28**

Il consumo dipende dalla quantità di punti luce installati nelle abitazioni, dalle ore di utilizzo e dalla tipologia e quindi efficienza delle sorgenti di illuminazione utilizzate<sup>10</sup>. Non si fa menzione dell'efficienza dell'intero sistema di illuminazione (tenendo in considerazione il rendimento dell'apparecchio, l'efficienza degli ausiliari elettrici e di eventuali sistemi di controllo ad esso associati). Il numero di punti luce presenti all'interno dell'ambiente domestico è in costante aumento: i vari studi condotti su questo tema (Figura 10 - Figura 11) riportano valori molto diversi (oscillazioni da 10 a 55 punti luce) con una media europea di circa 24/26 punti luce in relazione ad un'abitazione secondo lo studio comparato su dodici paesi europei (REMODECE 2008).



**Figura 10 - Numero di punti luce per abitazione. Grafico compilato da Enerdata da varie sorgenti, di cui Remodece, JRC-Ispira**

Source	Number of lamps per household	Average installed lighting power per household (W)	Lighting power density for households (W/m <sup>2</sup> )
<b>MELISA 2013</b>	<b>33</b>	<b>966</b>	<b>11</b>
<b>MELISA 2007</b>	<b>28</b>	<b>1198</b>	
<b>MELISA 2000</b>	<b>23</b>	<b>1184</b>	
<b>MELISA 1990</b>	<b>21</b>	<b>1062</b>	
United Kingdom 2012	34	1362	24
Sweden 2009, houses	55	1618	13
apartments	31	829	11
REMODECE 2008 (12 countries)	26	1060	
IA 2009, data for 2007	19		
JRC, Bertoldi, 2006	22		
IEA, 2006 (7 countries)	10 - 40		6 - 16
France 2003	28	1578	15
EURECO 2002 (4 countries)	10 - 24	675 - 883	6 - 9
Delight, 1994-1997	24		
GPP Indoor Residential			9 - 11
Residential communal spaces			5 - 6
prEN15193, standard (15 lm/W)		920 - 1380	15 - 17
optimised (60 lm/W)		330 - 535	≈ 6

**Figura 11 - Numero di punti luce per abitazione - studi comparativi - Fonte VHK/VITO**

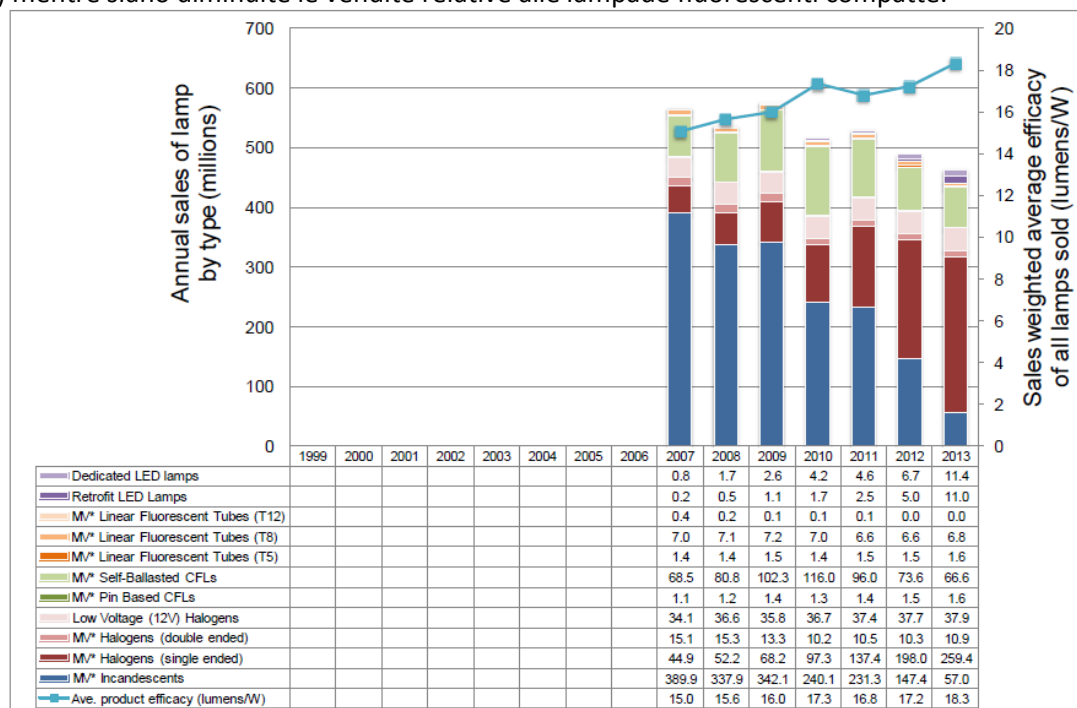
Lo stesso studio stima a livello Europeo un quantitativo di ore di utilizzo dell'illuminazione a livello domestico per anno con una media di 459 ore/anno (media su 12 paesi) considerando che i paesi del nord Europa, avendo periodi più limitati di luce solare, aumentano la media (637 – 752 ore/anno) mentre i paesi del sud Europa, avendo più disponibilità di luce naturale lungo il corso dell'anno abbassano la media oraria (209 – 529). (Figura 12)

Residential Measurement campaign	Operating hours per year
United Kingdom 2012	394
Sweden 2009 houses	515
apartments	567
REMODECE 2008	
average 12 countries	459
nordern countries	637-752
southern countries	209-529
France	295
France 2003	224
EURECO 2002	
3 countries (excl. PT)	425 – 576

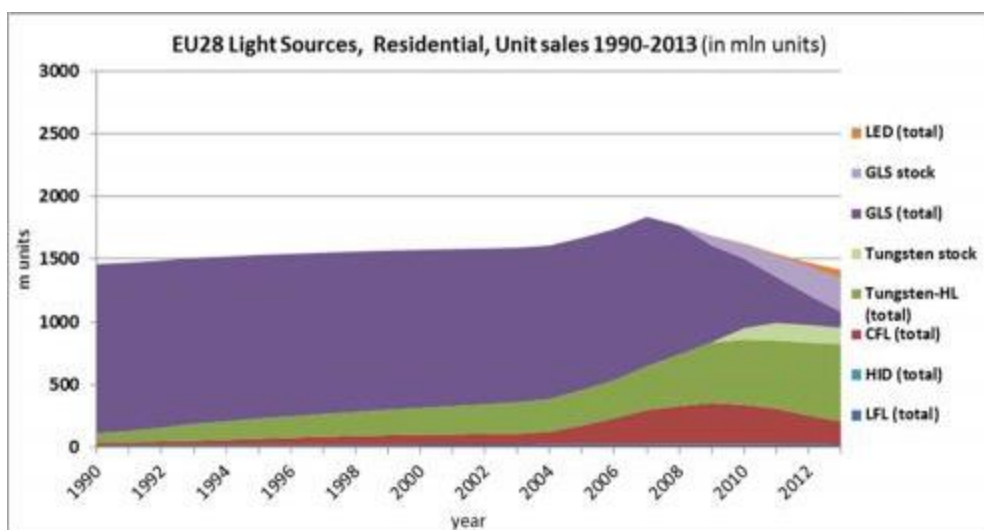
**Figura 12 – Media oraria di utilizzo dell'illuminazione - studi comparativi - Fonte VHK/VITO**

Un ulteriore elemento di approfondimento è la tipologia di sorgenti di illuminazione utilizzate in Europa in ambito domestico. Il grafico riportato in Figura 13 riguarda una mappatura dell'illuminazione domestica Europea ed è stato pubblicato dall'IEA – 4E (International Energy Agency – Energy Efficient End-use Equipment) <sup>11</sup> nel settembre del 2014. Tale report si basa su dati di vendite in Europa ed evidenzia alcuni andamenti di scelta delle sorgenti di illuminazione non direzionale, nello specifico incandescenza a tensione di rete, alogena a tensione di rete (singolo e doppio attacco), alogena a bassa tensione (12V), fluorescenti compatte CFL, fluorescenti lineari (T12, T8 e T5, lampade a LED retrofit e motori luminosi a LED dedicati) da parte degli utenti di specifici paesi europei (Austria, Germania, Gran Bretagna, Francia, Belgio, Paesi Bassi, Italia) nel periodo di tempo compreso tra il 2007 e il 2013.

Il grafico mostra come siano diminuite le vendite relative alle lampade ad incandescenza (effettivamente non più disponibili nel mercato) e siano aumentate le vendite relative alle lampade alogene (attacco singolo) mentre siano diminuite le vendite relative alle lampade fluorescenti compatte.

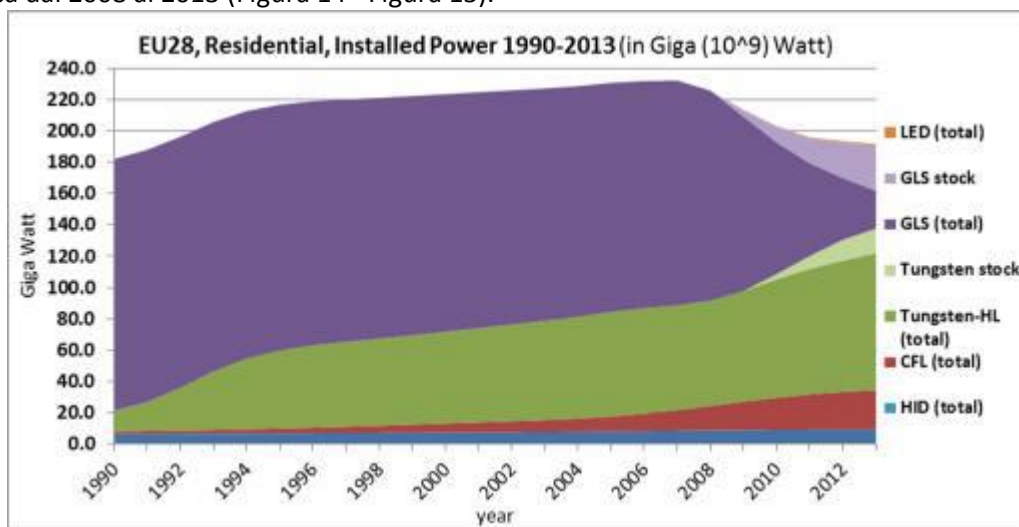


**Figura 13 - Vendite di sorgenti di illuminazione nel settore domestico negli anni compresi tra il 2007 e il 2013 ed efficienza (lm/watt)**



**Figura 14 – MELISA (Model for European Light Sources Analysis), Vendite di sorgenti di illuminazione nel residenziale negli anni 1990-2013**

Un simile andamento è evidenziato dallo studio VITO<sup>12</sup> che utilizza il modello residenziale MELISA (Model for European Light Sources Analysis) ed evidenzia come nel 2013 sia diminuito l'acquisto delle CFL mentre sia aumentato quello delle sorgenti ad incandescenza alogene e sia cominciato ad aprirsi il mercato dei LED. Lo stesso studio definisce una media di potenza installata di 900 W per abitazione evidenziando un calo della stessa dal 2008 al 2013 (Figura 14 - Figura 15).



**Figura 15 - MELISA, Potenza installata totale in EU-28**

Inoltre, per quanto riguarda i prodotti a LED, l'agenzia GfK ritiene che la copertura del mercato delle vendite dei prodotti di illuminazione a LED sia rappresentata nel grafico in maniera inferiore rispetto agli altri tipi di lampade dato che i prodotti a LED sono più comunemente acquistati presso i rivenditori specializzati e on-line. Questo significa che la percentuale delle vendite LED sia leggermente superiore a quella mostrata in figura in base ad una conoscenza più approfondita di alcuni singoli mercati europei. Rispetto ai LED, dunque, non c'è ancora un estremo utilizzo nel settore domestico sebbene i trend indichino una progressiva adozione sia di sorgenti di illuminazione retrofit sia di apparecchi di illuminazione a LED dedicati. Inoltre si evidenzia un aumento dell'efficienza in costante crescita (Figura 16 - Figura 17).

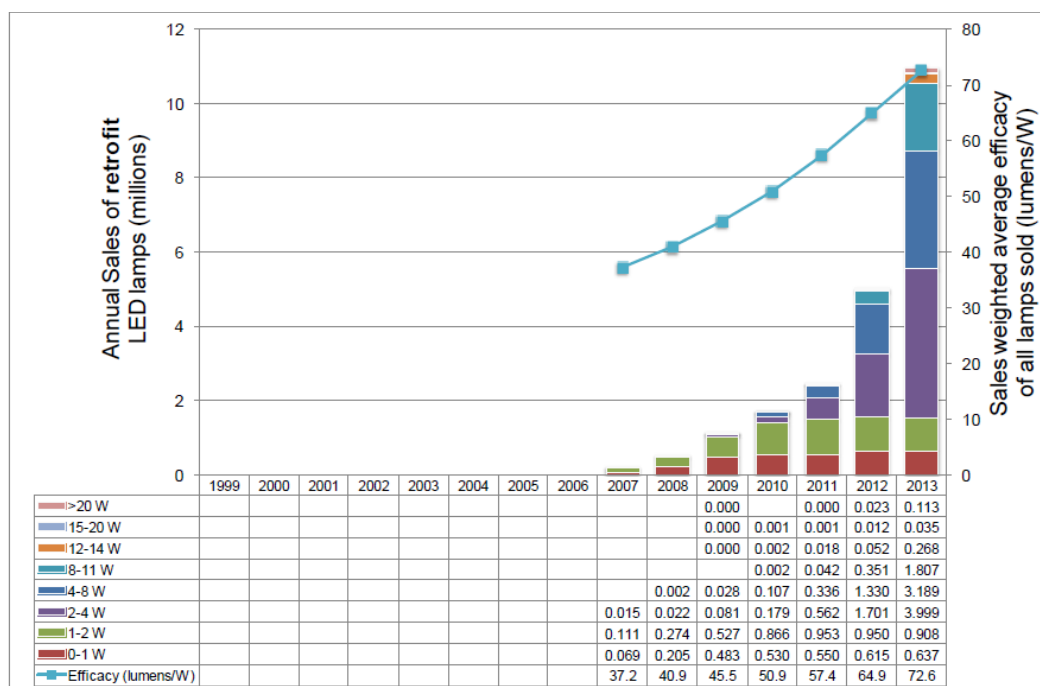


Figura 16 – Vendite relative alle lampade a LED retrofit in relazione al consumo ed efficienza (lm/w)

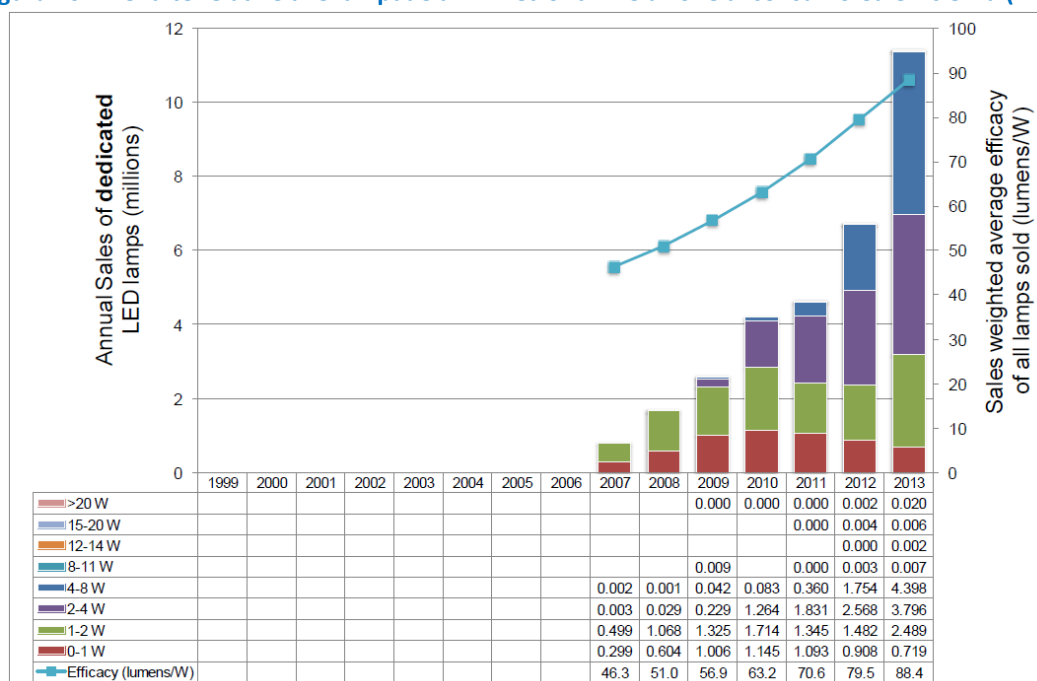
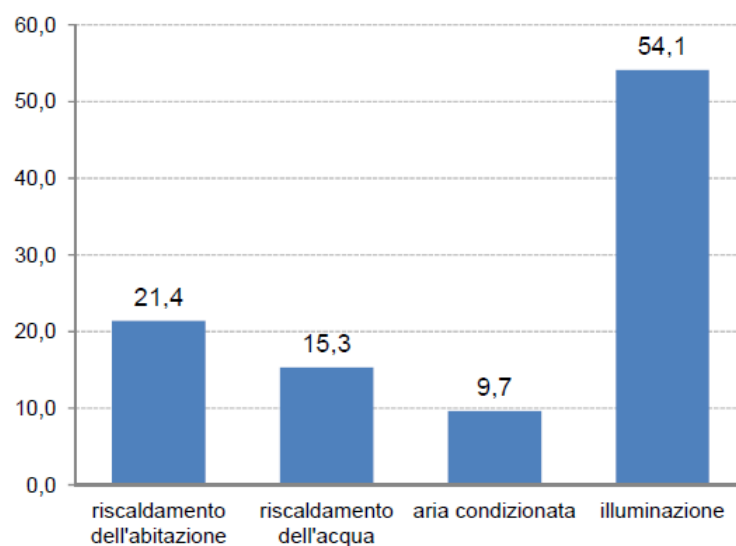


Figura 17 - Vendite relative alle lampade a LED dedicate in relazione al consumo ed efficienza (lm/w)

Secondo i dati Istat, in Italia, le sorgenti di illuminazione a risparmio energetico rappresentano quasi i tre quarti delle dotazioni del residenziale. Le famiglie del Centro e del Mezzogiorno ricorrono maggiormente alle lampadine a risparmio energetico (soprattutto Campania, Sardegna e Toscana). Secondo alcuni studi dell'Istat, le famiglie italiane dichiarano di aver effettuato investimenti sul fronte del risparmio energetico negli ultimi 5 anni. Oltre la metà dichiara di aver ridotto le spese per l'energia elettrica soprattutto mediante progressiva sostituzione delle lampadine tradizionali. Più onerosi, e dunque meno diffusi, gli investimenti per ridurre le spese di riscaldamento dell'abitazione e dell'acqua e di condizionamento tramite ammodernamento ed efficientamento di dotazioni e abitazioni.



**Figura 18 – Percentuale di effettuato famiglie che hanno investimenti per ridurre le spese per consumi energetici per finalità d'uso (per 100 famiglie) – Dati L'indagine Istat sui consumi energetici delle famiglie: principali risultati - Istat 2014**

### *1.1 Il mercato domestico*

L'illuminazione in ambienti domestici rappresenta almeno il 40% dell'intero mercato dell'illuminazione nel 2011; la quota di mercato dei prodotti LED (per questa applicazione) nel 2011 è stata stimata attorno 7% e si prevede che raggiungerà il 50% nel 2016 e il 70% nel 2020<sup>13</sup>.

In alcuni paesi (USA) ci si aspetta che il prezzo delle lampade LED diventi competitivo, nel 2015, con quello delle lampade fluorescenti compatte (CFLs). A questo fattore si deve anche aggiungere l'adozione delle fasi avanzate dei programmi di risparmio energetico (in Europa e in Cina) che certamente favoriranno la diffusione delle lampade LED all'interno del mercato domestico.

L'efficienza luminosa non è l'unico trend in crescita nel mondo dell'illuminazione domestica, ma l'illuminazione sta progressivamente diventando "smart", con possibili effetti significativi sul mercato dell'illuminazione.

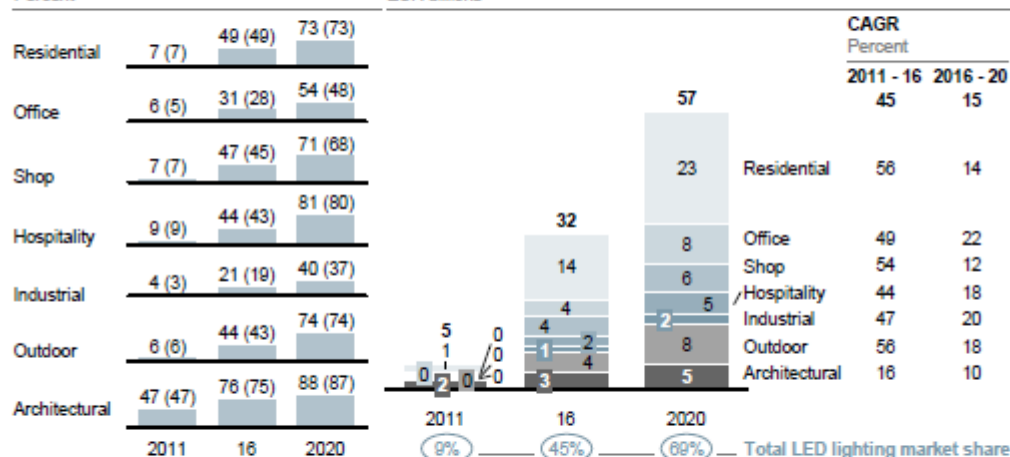


Exhibit 12

**Architectural is the early LED adopter, but residential is expected to become the most significant LED application soon**

LED lighting value-based market share<sup>1</sup>  
by general lighting application  
(excl. lighting system control components)  
Percent

LED lighting market size<sup>1</sup> by general lighting application,  
incl. lighting system control components  
EUR billions



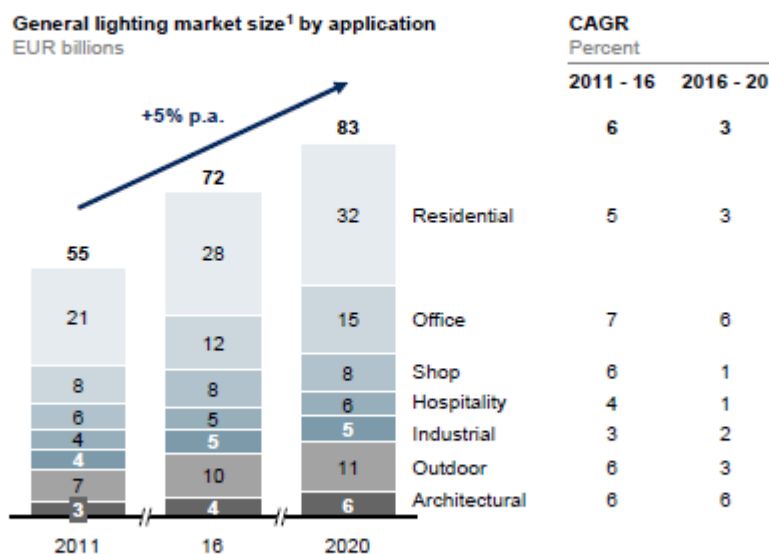
<sup>1</sup> Total general lighting market: new fixture installations incl. full value chain, incl. lighting system control components and light source replacements  
NOTE: Numbers may not add up due to rounding

SOURCE: McKinsey's 2012 Global Lighting Market Model

50 Please also refer to section 3.1 (pages 29 to 33) in McKinsey's 2011 "Lighting the way" report.

Exhibit 13

**Residential is and will remain the largest market segment, followed by office and outdoor**



<sup>1</sup> Total general lighting market: new fixture installations incl. full value chain, incl. lighting system control components and light source replacements  
NOTE: Numbers may not add up due to rounding

SOURCE: McKinsey's 2012 Global Lighting Market Model

Figura 19 McKinsey&Company, Lighting the way: Perspectives on the global lighting market, Second Edition

A partire dal 2012, le lampade intelligenti sono entrate nel mercato dell'illuminazione: questi dispositivi non sono controllati da un semplice interruttore o da un dimmer, ma sono connesse in rete e controllate da un'applicazione su un dispositivo mobile (tablet o telefono) o da un PC.

## 2 Comportamenti volti al cambiamento in termini di risparmio energetico

Secondo alcune recenti ricerche scientifiche<sup>14 15 16</sup> in tema di psicologia ed economia comportamentale, il comportamento dei consumatori finali in tema di risparmio energetico non si basa su un processo decisionale razionale ma viene mediato da una serie di pregiudizi e scorciatoie di giudizio che producono comportamenti totalmente inaspettati e assolutamente non razionali soprattutto in condizioni caratterizzate da alti livelli di complessità, di rischio e di incertezza.

	<b>Investment</b> One-time changes resulting from a capital outlay, non-repetitive actions	<b>Habitual</b> Recurring, repetitive or frequent actions
<b>Low Cost/No Cost</b>	Weather stripping Caulking More efficient light bulbs	Turn off lights, appliances, heating/cooling when not in use Cold wash clothes washing
<b>Higher Cost</b>	Efficient HVAC/heat pumps Efficient appliances Whole-house retrofit	Changes in habitual behaviors can occur through technology automation, including sensors, smart thermostats, smart appliances and home energy automation systems

Figura 20 - Adapted from Ehrhardt-Martinez, K. (2008). "Behavior, Energy and Climate Change: Policy Directions, Program Innovations and Research Paths," ACEEE Report Number E-087.

Gli studi descrivono due tipi di comportamento (Figura 20) che hanno un impatto sull'efficienza energetica:

- il **comportamento relativo alla propensione ad investire (di investimento)**: ad esempio scelte abitative, acquisto di apparecchi o sostituzione delle lampadine più efficienti. Il comportamento di investimento è di natura più razionale e quindi più facile da cambiare. Una storia di successo è l'etichettatura energetica, che ha trasformato i mercati già prima dell'adozione del regolamento eco-design, consentendo ai consumatori di prendere decisioni informate. I sussidi sono ampiamente forniti dai governi e con entusiasmo utilizzati dalle famiglie per investimenti di efficienza energetica e di energia rinnovabile.
- il **comportamento abituale relativo ai modelli di utilizzo quotidiano**: ad esempio il modo in cui svolgiamo la nostra vita quotidiana, le cose che facciamo in maniera routinaria e le piccole decisioni che prendiamo spesso senza prestare molta attenzione, come l'accensione o lo spegnimento delle luci quando si lascia una stanza. Le teorie comportamentali basate su un processo decisionale razionale si sono dimostrate inadeguati nello spiegare il comportamento abituale. Al contempo, il ruolo del comportamento abituale è molto significativo in termini di efficienza energetica e riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Un recente rapporto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA 2013) ha studiato la letteratura per il potenziale di diversi interventi su tale comportamento e ha concluso che una combinazione di politiche e misure volte al cambiamento comportamentale può indurre un risparmio energetico del 5-20% senza introdurre particolari cambiamenti tecnologici.<sup>17</sup>

Vi è un gran numero di fattori interni (personali) ed esterni (contestuali) che influenzano il comportamento. Il cambiamento comportamentale si verifica solo se le persone sono allo stesso tempo motivate e abilitate

al cambiamento, ovvero che gli sia effettivamente consentito cambiare. Entrambi questi fattori si applicano anche al comportamento di investimento.

I fattori motivanti sono i driver individuali ed interni di comportamento come consapevolezza, conoscenza, influenza sociale, atteggiamento, capacità di percezione e intenzione. Affinché le persone cambino il loro comportamento intenzionalmente rispetto all'energia, devono diventare consapevoli del loro consumo energetico, prestare attenzione ed essere informati circa le conseguenze delle loro azioni. Inoltre, devono essere motivati ad utilizzare le informazioni e gli strumenti disponibili per controllare il loro consumo energetico.

I fattori abilitanti sono i vincoli esterni sul comportamento e consentono nuovi comportamenti da realizzare: coinvolgono risorse finanziarie, tecniche ed organizzative esterne. Esempi di strumenti che influenzano questi fattori sono sovvenzioni, disponibilità dei prodotti nei negozi e la disponibilità di una consulenza specifica. Nuove competenze possono essere acquisite per realizzare il comportamento desiderato.

I fattori di rinforzo sono feedback positivi o negativi che spronano gli utenti a continuare o interrompere il loro comportamento. Questi includono informazioni sugli impatti del comportamento passato (ad esempio, bolletta energetica più bassa), valutazioni di coetanei, consigli e feedback da parte di pari o di soggetti altamente influenti.

Gli interventi riportati in Figura 21 evidenziano la percentuale di riduzione dell'impronta energetica in relazione ai cambiamenti comportamentali abituali sia alla propensione all'investimento.

Intervention	Range of energy savings
Feedback	5-15%
Direct feedback (including smart meters)	5-15%
Indirect feedback (e.g. enhanced billing)	2-10%
Feedback and target setting	5-15%
Energy audits	5-20%
Community-based initiatives	5-20%
Combination interventions (of more than one)	5-20%

**Figura 21 – Risparmio energetico potenziale dovuto a misure di relative al cambiamento comportamentale degli utenti. Dati - EEA 2013**

Interventi utili al cambiamento riferito alle abitudini comportamentali in termini di risparmio energetico ed illuminazione riguardano in primo luogo i regolamenti e i sussidi che devono essere strettamente accompagnati da un'effettiva comunicazione e da strumenti informativi. I regolamenti in particolare possono fare in modo da rendere qualcosa obbligatorio oppure vietato per modificare il comportamento dei consumatori. Ad esempio, se gli apparecchi di illuminazione o le sorgenti inefficienti (Direttiva Eco-Design, Etichettatura energetica, Progettazione eco-compatibile) sono vietati, i consumatori si trovano a scegliere solo tra quelli efficienti. Tuttavia è stato dimostrato che la propensione all'acquisto o al cambiamento aumenta tanto più se si ricevono le informazioni rilevanti di buona qualità (etichette energetiche, consigli, campagne) e se i venditori hanno ricevuto una formazione nel campo dell'efficienza energetica per poterli informare in maniera ottimale.

Modificare il comportamento energetico mediante la comunicazione viene fatto attraverso il marketing sociale in cui si applicano i principi di marketing generale (ad esempio segmentazione, targeting, strumenti di comunicazione su misura e di rinforzo). Oggi gli strumenti di informazione convergono in parte o si sovrappongono con i servizi energetici. I servizi energetici ovvero vari servizi pubblici e privati includono audit energetici, strumenti per il monitoraggio del consumo (case intelligenti), sistemi avanzati di misura,

fatturazione e reporting (contatori intelligenti, web-tools, applicazioni smart phone / tablet), consulenza energetica e diffusione delle informazioni.

Inoltre, sfruttare le conoscenze in ambito di psicologia ed economia del comportamento determina importanti opportunità di modifica dei comportamenti soprattutto per incoraggiare l'uso di energia rinnovabile e più sostenibile, mediante soluzioni pratiche: un esempio è agire per rendere efficiente lo **status quo** del consumatore (il consumatore, nella definizione delle proprie scelte, tende a mantenere uno status quo, differendo nel tempo le proprie decisioni quanto più la quantità o la complessità delle informazioni aumenta). Ad esempio, se è vero che la tendenza del consumatore è accettare le impostazioni predefinite delle tecnologie e di non personalizzarle, allora si dovrà incoraggiare l'inserimento di programmi energy saving nelle modalità di default delle tecnologie.

Un ulteriore mezzo per modificare il comportamento verso il risparmio energetico è porre l'attenzione, per mezzo di messaggi e comunicazioni, su quanto si perderebbe (in termini di tempo, fatica, denaro) tramite pratiche che sprecano energia. Tale informazione agisce come meccanismo di sprono per il principio di **avversione alla perdita** (di fronte ad una decisione, le persone avvertono maggiormente il dolore per una perdita rispetto al piacere per un guadagno. Diversi studi dimostrano che la disponibilità ad accettare tende ad essere superiore rispetto alla disponibilità a pagare). Oltre dunque ai feedback positivi sul risparmio ottenuto, sarà necessario insistere sulle eventuali perdite se il comportamento non fosse mutato, eventualmente evidenziando come le attività di conservazione dell'energia e il comportamento pro-ambientale impediscano perdite e costi futuri.

Un ulteriore incentivo al risparmio energetico deriva dal paragone con le pratiche e i comportamenti degli altri, ad esempio mostrando come persone simili (ad esempio nel progetto Opower) i vicini di casa utilizzino meno energia o abbiano comportamenti volti al risparmio. Tale messaggio, legato alle **norme sociali** (i consumatori sono generalmente influenzati dagli atteggiamenti e dai comportamenti degli altri e tendono a seguire le norme che riflettono ciò che è socialmente approvato e condiviso), trasmette l'approvazione sociale di tali azioni e tenderà a motivare a conformarsi al sistema e a ridurre di conseguenza il proprio consumo energetico. A questo si associano ricompense ed incentivi che, oltre ad essere monetari, possono essere di natura sociale, come appunto l'approvazione sociale. Tali sistemi vanno a ridurre il numero dei free-rider ovvero dei consumatori che tendono a ridurre i propri sforzi o a contribuire meno al bene comune se possono ottenere gli stessi benefici senza pagare in prima persona, o se credono che gli altri stiano godendo di benefici senza contribuire in proprio.

Le strategie vincenti che conducono ad un risparmio energetico derivato dai comportamenti dei consumatori si dividono in due grosse branche:

- educazione che informa gli utenti e consumatori sulle tematiche energetiche, indipendentemente dal consumo individuale specifico;
- feedback che informano gli utenti sulla propria condotta energetica e quindi sui propri consumi. In particolare i feedback si dividono in indiretti ovvero che riferiscono informazioni dopo un intervallo di tempo oppure diretti ovvero che provvedono ad informare in tempo reale.

Inoltre i feedback possono informare in maniera focalizzata sulla propria dimensione domestica (Individual household) e sull'utilizzatore, con dati relativi al proprio consumo in maniera aggregata o disaggregata dando anche eventualmente consigli energetici customizzati. In alternativa i feedback possono avere un focus comparativo (peer comparisons) ovvero comparare il proprio consumo energetico rispetto ad altri utenti o abitazioni con caratteristiche simili. Un ulteriore tipologia di feedback agisce con un focus comunitario, al fine di creare un senso di affiliazione per uno scopo ambientale o energetico stabilendo dei traguardi di efficienza energetica comuni tra membri di una stessa comunità (Community-based programs). Alcuni esempi sono riportati in Figura 22.

	One-time feedback	Interval feedback	'Real-time' feedback
<b>Household focus</b>	Home energy audits, RESNET Home Energy Raters, Recurve, selected Lowe's stores	Enhanced utility billing, typically provided directly by utility	Home energy displays or management systems: Control4, iControl, Tendril EnergyHub, The Energy Detective, Cisco Google PowerMeter,
<b>Peer/ Comparative focus</b>	Online tools with comparative focus: Yardstick, EnergySavvy, Microsoft Hohm	OPOWER, Efficiency 2.0	Microsoft Hohm, OPOWER, with selected utilities
<b>Community/ Commitments/ Social marketing focus</b>	Community energy challenges, typically provided directly by utility or community. Rothsay, MN Community Energy Challenge, BC Hydro "Team Power Smart" Online feedback and social networking components: Stickk, EarthAid		Efficiency 2.0

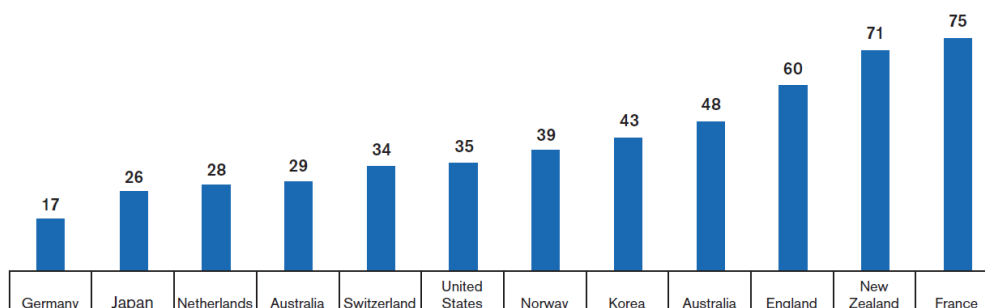
Figura 22 – Esempi di sistemi e piattaforme per feedback energetici residenziali <sup>18</sup>

### 3 Tendenze economiche e sociali

#### 3.1 Proiezioni abitative

Gli ultimi decenni hanno visto un cambiamento sociale su scala notevole. In particolare si è verificato un aumento di longevità nei paesi più sviluppati, con l'aspettativa di vita media alla nascita che passa da 66 anni nel 1950 a 76 anni nel 2007. Questo ha avuto e continuerà ad avere, implicazioni di vasta portata per la composizione delle famiglie. Per la popolazione totale dell'Unione europea (EU25) si prevede un leggero aumento (1,1%) tra il 2010 e il 2030, con un declino fino al 2050. Diversamente, la quota degli anziani aumenterà in modo drammatico nel 2030: la fascia di età 65-79 in aumento del 37% e la categoria degli over80 del 54%. Gli aumenti di longevità raggiunti negli ultimi decenni continueranno nei prossimi anni portando ad un grande aumento delle persone viventi a 80/90 anni di età nel 2050<sup>19</sup>.

Nella maggior parte dei casi, la conseguenza dell'invecchiamento della popolazione sta determinando la crescita del numero di famiglie costituite da una sola persona in tutti i paesi OCSE per i quali sono disponibili le proiezioni. I più imponenti aumenti sono attesi in Corea (43%), Australia (48%), Inghilterra (60%), Nuova Zelanda (71 %)e Francia (75%).



**Figura 23 - Percentuale di aumento previsto nel numero di una sola persona in famiglie selezionate nei paesi OECD dagli anni 2000 agli anni 2025/2030**

L'espansione dell'istruzione superiore, la crescente partecipazione delle donne nel mercato del lavoro e il crescente numero di anziani non autosufficienti sembrano temi destinati a diventare una caratteristica permanente del prossimo ventennio anche se è di difficile previsione il loro effetto combinato sulla formazione della famiglia e sulle relazioni intergenerazionali. Interessante sarà il rapporto tra le persone anziane e il mercato del lavoro. In particolare, viste le differenze di longevità previste nei vari paesi, ci saranno diversi approcci e diverse implicazioni rispetto al mondo del lavoro: per esempio in Europa, sebbene l'invecchiamento è in moderato aumento, non si mostrano tassi elevati di partecipazione al mercato del lavoro tra le persone anziane.

Al contrario, sembra inevitabile che in futuro i tassi di partecipazione al lavoro nella fascia di età over65 dovranno salire: questo porterà vantaggi e svantaggi in termini di sostentamento di una vita più lunga ma allo stesso tempo di diminuzione del tempo da dedicare alla cura personale e dei familiari<sup>20</sup>.

Le persone, di tutte le età e in molti mercati, stanno costruendo la propria identità più liberamente che mai e, come conseguenza, i modelli di consumo non sono più definiti dai segmenti demografici "tradizionali" quali età, sesso, posizione, reddito, stato di famiglia e altro ancora. Sebbene ancora oggi, i soggetti più giovani e benestanti rimangono i consumatori che sono soliti adottare per primi le innovazioni, i prodotti, marchi e servizi di successo hanno cominciato a superare le caratteristiche demografiche. Si è dunque di fronte ad un consumismo post-demografico in cui le soluzioni innovative saranno rapidamente adottate in maniera universale e rimodellate istantaneamente in base alle aspettative e alle specificità demografiche, personalizzate: ciò deriva dal fatto che la società è fluida, le idee disponibili, l'informazione ormai globale e ubiqua, il mercato efficiente, i rischi e i costi per provare cose nuove sono bassi.

#### 3.2 Rapporto con la tecnologia

L'avanzamento dell'invecchiamento della popolazione tenderà a spingere nuovi usi nelle telecomunicazioni per servizi di supporto nel settore sanitario e soprattutto mediante dispositivi per gli anziani in grado di

determinare un'estensione dell'ospedale nella propria casa attraverso un network di sensori e una connessione wireless<sup>21</sup>.

### 3.2.1 Sensori indossabili e automonitoraggio

L'auto-monitoraggio digitale è una tendenza in aumento (nel 2014 è stato calcolato che il 21% degli adulti statunitensi possedeva un dispositivo indossabile): informa gli individui di una serie di dati sulla propria vita con la promessa di migliorare (rivoluzionare) il proprio status da diversi punti di vista. Uno studio globale svolto da Accenture on-line su 24.000 consumatori in 24 paesi ha rilevato che l'8% possiede un sistema di monitoraggio indossabile per il fitness, il 7% uno SmartWatch e il 6% un dispositivo di salute indossabile. Inoltre il 40%, 41% e 39% dei partecipanti al sondaggio, rispettivamente, dichiara di avere in programma di comprarne uno nei prossimi cinque anni (Accenture, Gennaio 2015). Il motivo per cui esiste la necessità (soprattutto nelle società più ricche) di auto-monitorarsi deriva dal fatto che l'auto-miglioramento è uno degli imperativi più profondamente radicati nella natura umana sia come driver interno di miglioramento personale (salute, l'istruzione formale, competenze informali e la conoscenza, la creatività, l'etica, i valori e molti altri) che come mezzo di presentazione della propria immagine verso l'esterno.

Ma nonostante questi dati, le prove dimostrano che l'auto-monitoraggio da solo non è un motivatore efficace a lungo termine per la maggior parte degli utenti e che quindi la maggior parte degli stessi, dopo circa 6 mesi tende ad abbandonarne l'utilizzo. La tensione tra 'chi sono io' e 'che mi piacerebbe essere' rimane ed è sabotata dagli stessi utenti a causa di mancanza di motivazione, povera gestione del tempo libero, perdita di concentrazione e pigrizia che sono caratteristiche eminentemente umane.

La soluzione per ovviare a questo problema dell'abbandono è stata trovata attraverso l'erogazione di premi di natura monetaria o mediante accumulazione di punteggio spendibile in vari modi con ricadute personali o sulla società e che aiutano gli utenti a raggiungere i propri obiettivi o a sentirsi "persone migliori". Alcuni esempi interessanti da parte di aziende e marchi che stanno incentivando l'utilizzo dei tracker per migliorare il proprio status sono ad esempio Oscar Assicurazione, una compagnia di assicurazioni statunitense che premia i consumatori se camminano di più. Questa compagnia ha lanciato una politica sanitaria nel gennaio 2015 e fornisce gratuitamente ai suoi clienti un "fitness tracker". Il dispositivo funziona con un'applicazione che misura il livello di forma fisica iniziale del cliente e quindi assegna loro una quantità di 'passi al giorno' da fare come obiettivo. I clienti guadagnano un premio di un dollaro per ogni giorno che raggiungono il loro obiettivo, con la possibilità di guadagnare un totale di fino a 240 dollari ogni anno sotto forma di voucher Amazon. Un altro esempio è quello di Fitbit e Feeding America che hanno lanciato la campagna FitforFood: qualsiasi utente di un dispositivo Fitbit può optare per il programma, che vedrà ogni caloria bruciata andare verso l'obiettivo di 1 miliardo di calorie bruciate complessivamente da tutti i partecipanti. Se si raggiunge il risultato, il miliardo di calorie comprerà 1,5 milioni di pasti per i cittadini statunitensi in difficoltà. In questo esempio, il comportamento del singolo ha una ricaduta positiva su altri soggetti più svantaggiati. Changers CO2 è invece un'applicazione che premia gli utenti che viaggiano in maniera sostenibile (come viaggio a piedi o con i mezzi pubblici): il sistema monitora il modo in cui si muovono gli utenti e mette a confronto l'impatto che ha avuto la loro selezione di viaggio comparata a quella fatta in auto. I punteggi vengono messi a confronto con altri utenti. Al contrario esistono braccialetti di monitoraggio che invece puniscono gli utenti per un cattivo comportamento: un esempio è il braccialetto Pavlok, (ottobre 2014) che dà una piccola scossa elettrica quando un utente non riesce a soddisfare un obiettivo personale.



### 3.3 *Il potenziale della tecnologia SSL nell'illuminazione domestica*

La tecnologia SSL offre grandi potenzialità sia quando applicata ad apparecchi con sorgenti non sostituibili, sia quando si trova ad operare in apparecchi tradizionali mediante un'operazione di retrofit.

Le sorgenti LED consentono un dimming in un intervallo molto esteso, tra 1% e 100% del flusso luminoso, offrono una buona efficienza luminosa, sono versatili, nel senso che rendono possibile aumentare l'efficienza di apparecchi di illuminazione tradizionali mediante la semplice sostituzione della sorgente con una dimensionalmente ed elettricamente compatibile, permettono di realizzare apparecchi con temperatura di colore variabile in maniera relativamente semplice, permettono una facile interfacciabilità con sistemi di controllo intelligenti.

Come un sistema di illuminazione svolga il proprio compito dipende da come i dispositivi che lo compongono interagiscono tra loro, che a sua volta dipende dalla loro compatibilità, interoperabilità e intercambiabilità. Queste tre termini indicano caratteristiche differenti che un sistema di illuminazione deve possedere.

Per ciascuna di queste caratteristiche è possibile fornire una semplice definizione<sup>22</sup>:

- Compatibilità è la capacità di due o più dispositivi, applicazioni, reti o sistemi di operare nello stesso ambiente fisico senza interferire con uno un altro;
- Interoperabilità è la loro capacità di scambiare affidabile e sicuro e l'uso dati che ha un significato comune;
- Intercambiabilità è la loro capacità di sostituirsi a vicenda e di fornire un determinato livello di prestazioni simili senza ulteriori configurazioni

Quando una nuova tecnologia viene introdotta negli edifici, la compatibilità tra versioni successive è spesso una preoccupazione, e sono spesso richieste significative revisioni del progetto per garantire che i nuovi dispositivi non interferiscano con i vecchi e viceversa.

Per il retrofit dei prodotti di illuminazione e per le lampade in particolare, i consumatori di solito assumono che ci sia piena intercambiabilità tra varie tecnologie di sorgenti luminose offerte dai diversi produttori nello stesso fattore di forma. I prodotti sostitutivi sono tenuti non solo a eguagliare le prestazioni fotometriche (per esempio flusso ed efficienza luminosa) dei prodotti precedenti, ma anche essere compatibili con i dispositivi di controllo legacy, come i dimmer a taglio di fase.

Tuttavia, permettendo ad esempio la compatibilità con l'intera gamma dei dimmer pre-esistenti, si richiede il progetto di LED driver più complesso e costoso, e spesso questo compromette l'efficienza (rapporto costi/prestazioni) delle sorgenti luminose nella fase iniziale; i prodotti retrofit di successo, sono quindi un fine bilanciamento tra diverse esigenze.

Per assicurare la compatibilità e l'intercambiabilità di solito si richiede una certa sorta di compromesso che spesso limita il potenziale, l'interoperabilità è sullo sblocco tale potenziale. Lo scambio di dati tra dispositivi e sistemi può migliorare significativamente le prestazioni.

In particolare, a livello di applicazione, è l'interoperabilità il fattore necessario per garantire che i dispositivi e i sistemi possono non solo scambiarsi informazioni (ricezione e trasmissione di dati), ma che possano anche "interpretare" correttamente ciò che viene detto. Molti protocolli di illuminazione esistenti si concentrano su un basso livello di interoperabilità che è simile a garantire che tutte le parti possono partecipare a una comunicazione senza prima essere certi che tutti i partecipanti parlino un linguaggio comune. Se non lo fanno, le informazioni non possono essere scambiate senza un traduttore. Gli sforzi per aumentare l'interoperabilità dei sistemi di illuminazione sono già in corso all'interno della ZigBee Alliance, il consorzio TALQ, il tConnected Lighting Alliance e altri, e il Dipartimento Americano dell'Energia che si è impegnato ad aiutare questi gruppi a sfruttare appieno il potenziale dei sistemi futuri.

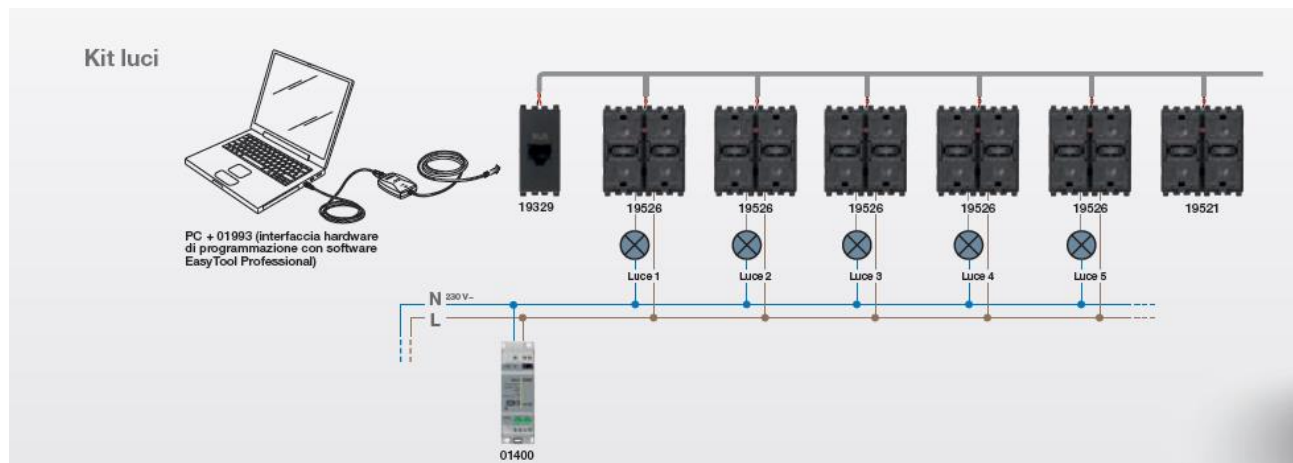
### 3.4 *I sistemi domotici per l'illuminazione domestica*

L'automazione dell'illuminazione della propria casa è uno dei più grossi trend tecnologici<sup>a</sup> e sono ormai numerosi i prodotti lanciati sul mercato per rendere semplice e personalizzata la gestione degli apparecchi di illuminazione della propria abitazione.

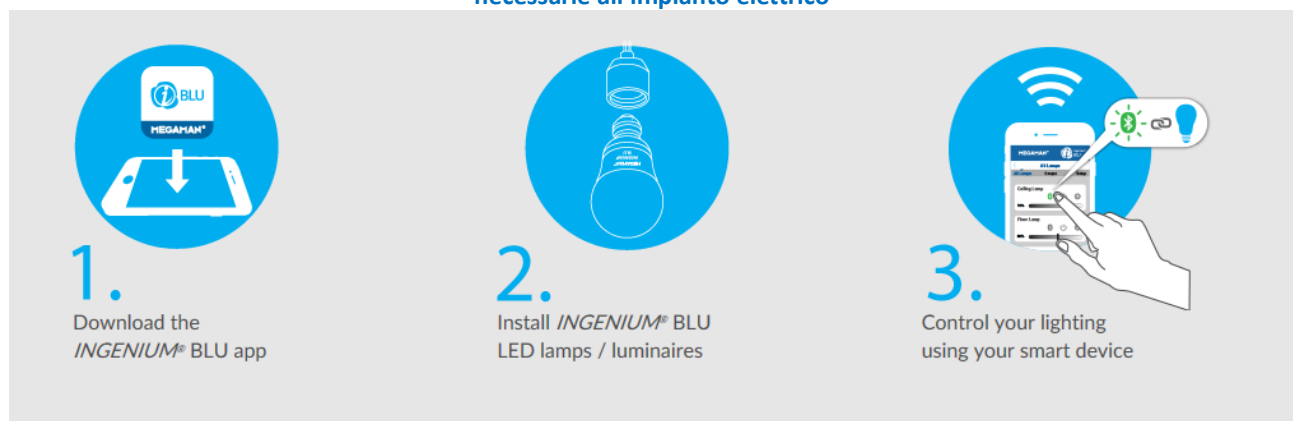
Una volta presa la decisione di dotare la propria abitazione di un sistema di illuminazione smart, occorre valutare se effettuare questa trasformazione per proprio conto (DIY) o affidarsi alla progettazione e installazione di installatori specializzati.

Gli elementi da considerare nella scelta sono i seguenti<sup>b</sup>:

- 1) Dimensione della propria abitazione: se è molto piccola e si vuole automatizzare solo una o due stanze per valutare le potenzialità offerte, allora un sistema DIY in kit può essere una buona soluzione. Di norma si tratta di un sistema composto da due o tre lampadine controllabili in modalità wireless o interruttori a muro che offrono quindi la possibilità creare le differenti scene di luce a seconda del compito visivo o dell'atmosfera che si desidera creare. Un sistema fai da te è un buon modo per conoscere illuminazione intelligente, e può essere ampliato (dall'utente stesso o da un professionista) quando lo si desidera estendere all'intera abitazione. I kit sono di norma costituiti da lampade "smart" a LED che devono essere sostituite alle tradizionali lampade senza alcuna modifica dell'apparecchio di illuminazione che le ospita.



**Figura 24 Kit Vimar che necessita installazione da parte di un professionista a causa delle modifiche necessarie all'impianto elettrico**



**Figura 25 Sistema domotico DIY (MEGAMAN)**

La Figura 25 mostra a puro titolo di esempio, un sistema domotico per il controllo dell'illuminazione DIY, che riesce a realizzare le funzioni di accensione e spegnimento, dimming, memorizzazione degli orari di

<sup>a</sup> home technology trends: <http://www.electronichouse.com/daily/smart-tv/home-technology-year-in-review/>

<sup>b</sup> Grant Clauser, DIY or Professional Lighting Control: 5 Tips to Help You Choose, EH Network: <http://www.electronichouse.com>

accensione e spegnimento, la creazione di gruppi di lampade in modo che sia possibile agire con un solo comando su tutte le lampade di un ambiente che si comporteranno ciascuna in base alla propria programmazione, la creazione di scene luminose.

- 2) Integrazione del sistema di controllo con altri sistemi domotici, come il riscaldamento e raffrescamento, il sistema antifurto, in controllo delle tapparelle di norma richiede sistemi piuttosto complessi e di conseguenza l'intervento di un professionista per l'installazione di un sistema di controllo dell'illuminazione che si integri con quelli pre-esistenti. Come si è detto in precedenza, il migliore risultato si ha quando i sistemi sono in gradi di scambiare e interpretare correttamente le informazione e agire di conseguenza.
- 3) Non sempre la sostituzione delle lampade all'interno degli apparecchi esistenti è sufficiente a creare un sistema di illuminazione smart: è il caso di apparecchi in cui le sorgenti led non sono sostituibili perché integrate all'interno di moduli su cui il costruttore non ha previsto alcuna attività di manutenzione da parte dell'utente. È il caso di alcuni apparecchi integrati nei mobili (sotto i pensili della cucina), oppure apparecchi decorativi in cui le sorgenti di illuminazione e i sistemi di alimentazione sono altamente integrati e personalizzati. In questo caso, per realizzare la trasformazione (es. controllo wireless, regolazione, ecc) sarà necessario agire sull'impianto con l'intervento di un professionista e il ricorso a componenti più costosi e versatili.
- 4) La maggior parte dei sistemi per casa intelligente fai da te, consentono di controllare le luci (o wireless le lampadine a LED) con applicazioni installate su un smart phone o tablet. Infatti, molti sistemi consentono di controllare le luci solo in questo modo. Se non si vuole che questo sia l'unico modo possibile di utilizzare le luci, occorre rivolgersi a un professionista. Infatti i sistemi di controllo dell'illuminazione professionale possono essere controllati con una varietà di dispositivi, tra cui tastiere personalizzate, dimmer switch avanzati, telecomandi e touch screen a parete in aggiunta alle applicazioni. L'installazione e la configurazione di queste opzioni di controllo è spesso più complessa di quella richiesta per un programma di installazione fai da te.

Le interfacce più utilizzate per il controllo di tali dispositivi sono:

- Dispositivi mobili, come smartphoe e tablet su cui viene installata una applicazione dedicata: questa scelta implica che l'abitazione diventa dipendente da questi dispositivi per poter regolare accensione, spegnimento, livello e tonalità della luce emessa da ciascuna sorgente.



**Figura 26 smart lamp Lifx controllata da smartphone**

- Touch screen o evoluzioni dei tradizionali sistemi di controllo a parete (riconoscimento di gesti) posti all'interno della casa che realizzano in modo virtuale degli switch e i dimmer, rendendo possibile l'accensione e lo spegnimento delle sorgenti, la regolazione della luminosità delle singole sorgenti e l'impostazione di scene di luce predefinite o precedentemente memorizzate dall'utente.

- Touchless on/off
- Touchless dimmer
- Prevents transfer of germs and bacteria
- Prevents dirt on walls and switch plate
- ActiveSaver energy saving auto-off setting
- Wall wash nightlight



**Figura 27 Obiquilux sensore a riconoscimento di gesti per il controllo dell'illuminazione domestica**

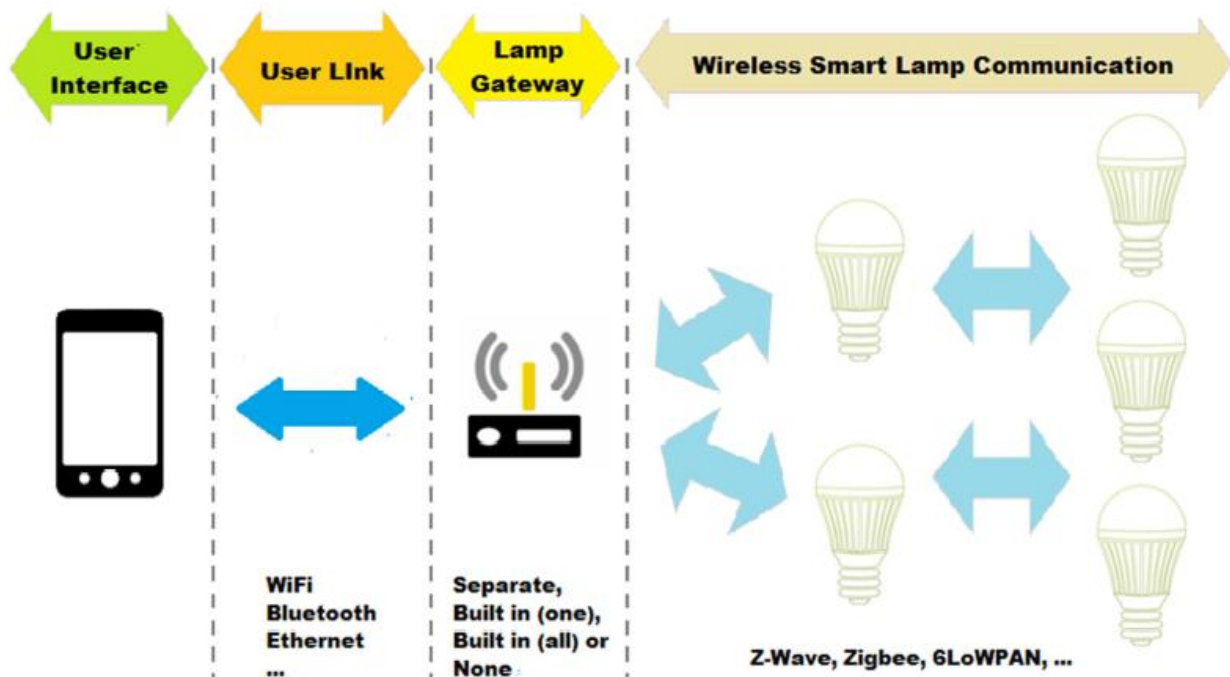
- Interfacce vocali, in cui i comandi sono inviate alla singole sorgenti mediante una serie di microfoni disposti all'interno dell'appartamento.



**Figura 28** Umbrella smart panel per il controllo dei alcuni impianti della propria abitazione (illuminazione, tapparelle, riscaldamento, allarme)

### 3.5 Smart lighting vs Energy smart

L'intelligenza delle lampade a LED definite smart è di solito attribuita all'interfaccia tramite la quale l'utente può modificare l'emissione delle singole sorgenti luminose (accensione/spegnimento, livello di intensità, temperatura di colore, colore della luce emessa). La comunicazione tra lo smart phone o l'unità dedicata è di norma di tipo wireless fornita da Wifi o Bluetooth oppure tramite cavo Ethernet. La comunicazione verso le lampade richiede quasi sempre un "lamp gateway".



**Figura 29** Smart lamp: sistema di comunicazione tra le lampade e tra il gateway e l'utente<sup>c</sup>

<sup>c</sup> Casper Kofod, "Is Smart Lighting Energy Smart ?", EEDAL 8<sup>th</sup> International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, August 28, 2015 Lucerne-Horw, Switzerland

Questo dispositivo viene di solito utilizzato per convertire la comunicazione verso le lampade e per la comunicazione tra le lampade; in generale il gateway della lampada (detto anche connection hub o bridge) è qualcosa di differente dal router wi-fi utilizzato per la comunicazione internet in ambito domestico.



**Figura 30 Philips HUE Bridge II**

Le principali caratteristiche del connection hub possono essere le seguenti:

- Una scatola separata con un sistema di alimentazione separato rispetto a quello della lampadina
- Inserito all'interno di una lampada in modo da occuparsi della comunicazione tra gruppi di lampade
- Inserito all'interno di ciascuna lampadina
- Il protocollo di comunicazione adottato per la comunicazione tra l'interfaccia utente e il gateway (es. wi-fi) e tra questo e le lampadine (Z-wave -Zigbee) potrebbero essere differenti.

L'utilizzo di lampade smart ha comportato la necessità di valutare i consumi di stand-by che devono essere considerati nella valutazione del risparmio energetico ottenibile dalla sostituzione delle lampade tradizionali con questo nuovo tipo di tecnologia.

I consumi, valutati da laboratori indipendenti in diversi paesi dell'Europa e degli Stati Uniti e Australia, sono stati rilevati su una piccola campionatura di prodotti acquistati sul mercato (1-3 unità per tipo) e i risultati che se ne derivano devono essere interpretati come semplicemente indicativi.

I dati riportati in una presentazione svoltasi nel corso dell'Ottava Conferenza sull'efficienza energetica nelle applicazioni domestiche e di illuminazione, riguardano:

- 11 modelli acquistati in USA acquistati da Eric Page & Associati e testati da ITL Boulder
- 3 modelli acquistati in Europa e testati dall'Agenzia Svedese dell'Energia
- 2 modelli acquistati e testati dal Governo Australiano
- 3 modelli acquistati in Danimarca e testati da DTU Photonic

I valori di consumo in stand-by risultano variabili da modello a modello e oscillano in un intervallo tra 0.17 e 2.71 W, con la maggior parte dei prodotti misurati che cadono all'interno di un range tra 0.4 W e 0.6 W.



## Standby Power for Smart Lamps [W]

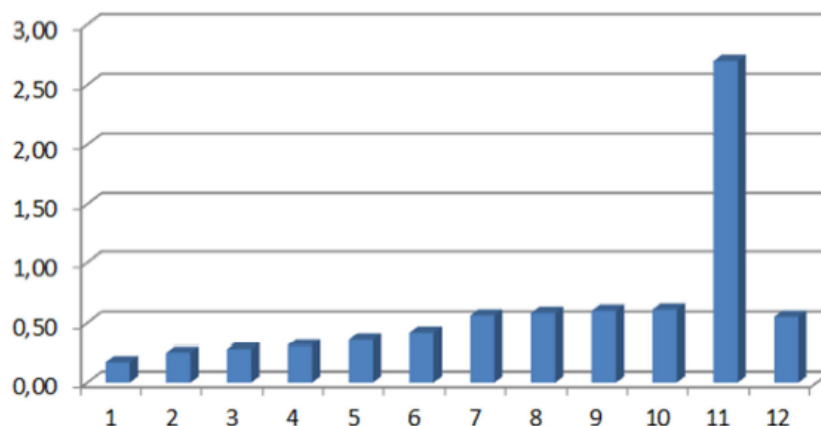


Figure 2 Standby consumption for smart lamps

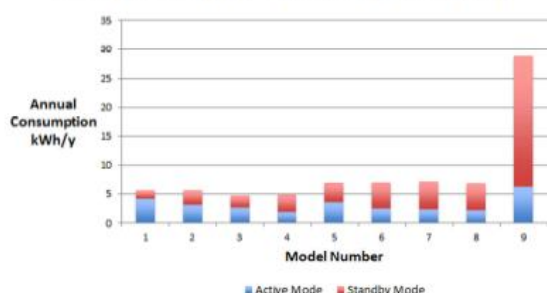
Figura 31 Consumo in stand-by per alcune smart lamp presenti sul mercato

Dall'esame della Figura 31, si osserva che le lampade con maggiori consumi includono il gateway al loro interno, mentre tutti gli altri modelli hanno necessità di un componente esterno per questa funzione con un consumo medio stimato di 1.5 W.

In ambito domestico, molte lampade sono utilizzate da 1 a 2 ore per giorno: sulla base di questa ipotesi la Figura 32 mostra il consumo annuale di lampade capaci di fornire un flusso luminoso di 225-1000 lm, dal quale si deduce che per 5 lampade testate il consumo annuale in stand-by, supponendo di avere 1 h di funzionamento attivo al giorno, è più della metà del consumo annuo complessivo.

Se il numero di ore di funzionamento a sale a 2.5h/giorno, solo due lampade, tra quelle provate, hanno un consumo annuale di stand-by superiore alla metà del consumo annuale complessivo; anche in questa condizione di utilizzo il consumo annuale in stand-by di alcune lampade è rilevante (cfr. lampada modello 8 e 9).

**Smart lamps providing 225 - 1000 lm**  
**Usage: 1h/day Standby: 23h/day**



**Smart lamps providing 225 - 1000 lm**  
**Usage: 2h/day Standby: 22h/day**

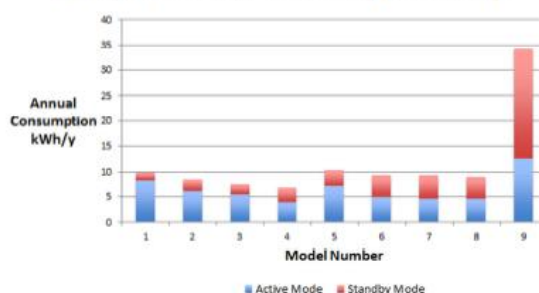


Figura 32 Consumo annuale delle lampade smart capaci di fornire un flusso luminoso di 225-1000 lm

Il consumo in stand-by delle lampade (necessario per le funzioni di network tra le lampade e il bridge), il consumo delle lampade a piena potenza, il valore del flusso luminoso emesso e il conseguente valore dell'efficienza energetica, sono riportate nella Tabella 1<sup>d</sup>.

Tabella 1 Tabella riassuntiva relativa al consumo in stand-by del modulo network e a piena potenza a cui è associato il valore del flusso luminoso emesso e dell'efficienza

Model #	Lamp Network Standby	Bridge Power (W)	Lamp Full Power	Lamp Full Light	Efficacy @ Full
---------	----------------------	------------------	-----------------	-----------------	-----------------

<sup>d</sup> Smart Lamp Testing –Initial Results-Results of Smart Lamp Testing, November 2014 4E Electronic Device & Networks Annex EDNA

	Power (W)		(W)	Output (lm)	Power (lm/W)
1	0.17	1.72	11.50	809	70.3
2	0.25		7.36	497	67.5
3	0.28		4.01	48 (*)	12.0
4	0.31		8.32	630	75.7
5	0.36	1.77	5.30	461	87.0
6	0.42	2.17	9.67	662	68.4
7	0.56		6.72	403	60.0
8	0.58		2.74	52 (*)	19.0
9	0.60		6.28	366	58.3
10	0.61		3.67	72 (*)	19.6
11	2.70		17.17	549	32.0

Per quanto riguarda le misure di flusso luminoso, le lampade con bianco dinamico, sono state misurate dai diversi laboratori, settando la temperatura di colore tra 2700 K e 3200K; nella tabella le lampade contraddistinte dall'asterisco, nel campo relativo al flusso luminoso, non sono probabilmente utilizzate per l'illuminazione generale, avendo un flusso emesso inferiore ai 100 lm.

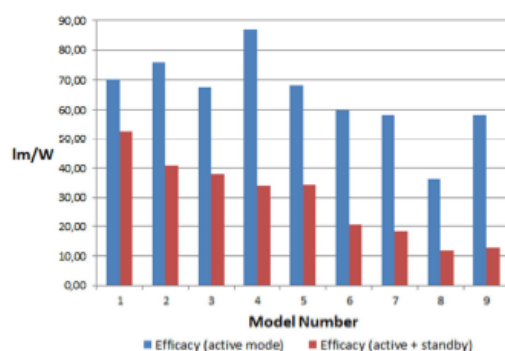
Dall'esame dei dati sul consumo in stand-by si può ipotizzare che attualmente i costruttori siano maggiormente focalizzati sulle nuove funzionalità disponibili e che solo in un secondo momento la loro attenzione verrà concentrata sulla riduzione dei consumi di stand-by, con un processo analogo a quello che si è registrato per altri prodotti dell'elettronica di consumo (esempio il consumo dei caricatori per smartphone relativo ai modelli più recenti si è ridotto a 0.05 W).

Al fine di poter confrontare le efficienze luminose delle smart lamp con quella delle lampade tradizionali, occorre considerare anche il valore del consumo in stand-by, mediante la relazione

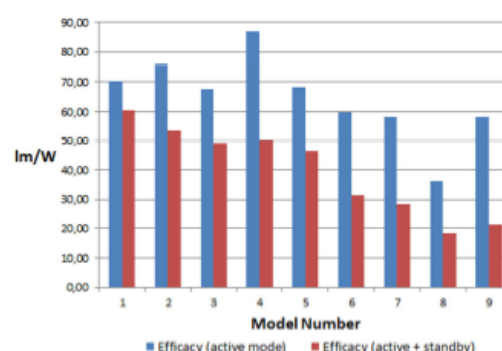
$$\text{Real Efficacy} = \frac{(\text{Luminous flux} \times \text{ON time})}{\{(ON \text{ power} \times ON \text{ time}) + (STANDBY \text{ power} \times STANDBY \text{ time})\}}$$

La Figura 33 mostra l'efficienza luminosa reale per le 11 lampade misurate, supponendo 1h di utilizzo al giorno e 23 h di stand by e nel caso di utilizzo di 2h al giorno e 22h di stand by e il confronto con l'efficienza luminosa delle stesse lampade considerando la sola potenza in modalità attiva.

**Smart lamps providing 225 - 1000 lm**  
**Usage: 1h/day Standby: 23h/day**



**Smart lamps providing 225 - 1000 lm**  
**Usage: 2h/day Standby: 22h/day**



**Figura 33 Efficienza luminosa reale e efficienza luminosa considerando la sola potenza durante la fase di accensione**

Osservando i valori della Figura 33, considerando 1 ora di funzionamento al giorno, l'efficienza nel funzionamento attivo della lampade per 9 modelli varia tra 36 lm/W e 87 lm/W, mentre considerando il valore di efficienza reale, l'intervallo dei valori è significativamente più basso: 12-53 lm/W. L'aspetto più interessante è che, per due modelli di lampade, il valore di efficienza energetica reale è più basso rispetto a quello di una lampada a incandescenza.



Nel caso di funzionamento di 2 ore al giorno, l'intervallo delle efficienze reali per i campioni esaminati cadono all'interno dell'intervallo 18-61 lm/W.

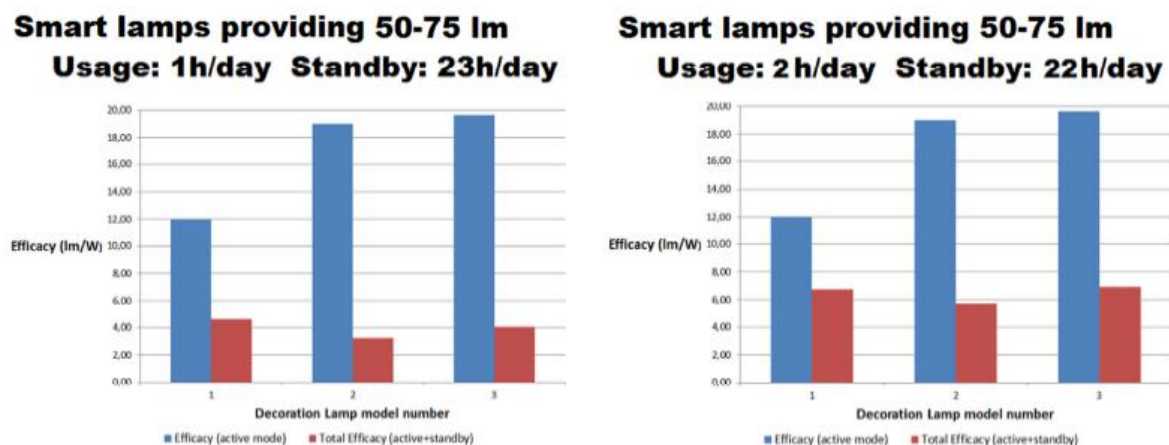
Per quanto riguarda le lampade decorative, identificate con quelle sorgenti che emettono un flusso luminoso inferiore a 100 lm, queste generalmente hanno un consumo unitario molto contenuto, ma possono essercene molte installate all'interno di un singolo ambiente. Per questo tipo di lampade, il consumo in stand by è la quota maggiore rispetto al consumo attivo (Figura 34), superiore alla frazione che è stata rilevata per le lampade per illuminazione generale.



**Figura 34 Consumo annuale per lampade smart decorative (con flusso luminoso emesso tra 50-70 lm)**

La Figura 34 mostra il consumo annuale delle lampade decorative considerando una accensione di 1h al giorno e di 2 h al giorno: con il colore rosso è riportato il consumo nella fase di stand-by, mentre con il colore blu il consumo della fase attiva: si osserva che per quasi tutti i campioni (2 su 3 considerando 2h al giorno di funzionamento) la fase di stand-by è quella preponderante.

Per questo tipo di sorgenti, l'efficienza reale e quella attiva sono molto basse, inferiori alla metà di quella di una lampada ad incandescenza.



**Figura 35 Efficienza energetica delle lampade smart decorative nella modalità stand-by e in quella di funzionamento attivo, supponendo 1h o 2h di funzionamento al giorno**

La temperatura di colore variabile ha una grande influenza sul flusso luminoso emesso, sulla potenza assorbita e di conseguenza sul valore di efficienza luminosa: considerando una lampada smart che emette un flusso di 600 lm, questa presenta una efficienza luminosa di 13 lm/W se regolata per emettere luce blu, 43 lm/W per l'emissione rossa, 110 lm/W per una emissione di luce verde, 75 lm/W per una emissione calda e 88 lm/W per una emissione di luce bianca fredda. Questa enorme variabilità nei dati mostra che non è ragionevole applicare i criteri definiti per le lampade LED retrofit anche alle lampade smart: per questi prodotti potrebbe essere necessario uno standard particolare per la loro valutazione energetica.

## 4 Che cosa si intende per smart-home

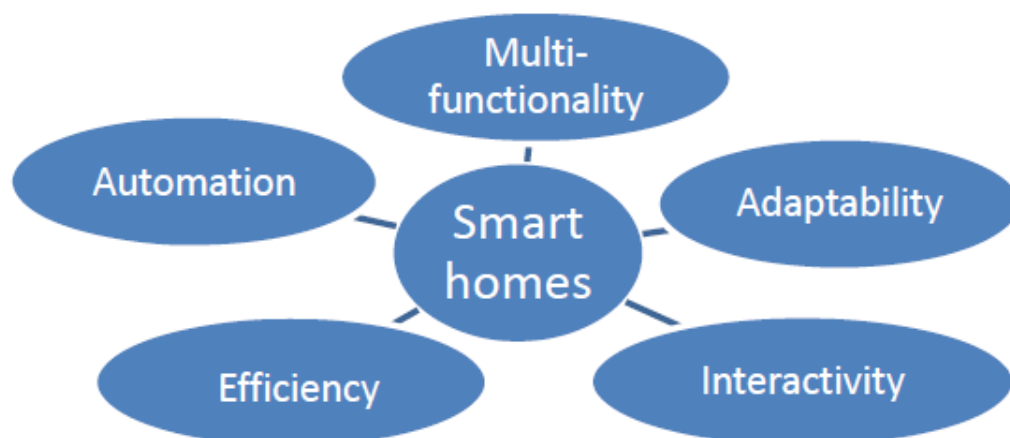
Il termine "casa intelligente" è generalmente usato per riferirsi ad una casa moderna che fornisce sicurezza e comfort a controllo elettronico.

Le case intelligenti sono dotate di sistemi automatici avanzati per le varie funzioni e compiti pre-programmati, come l'illuminazione, il controllo della temperatura, multi-media, le operazioni su porte e finestre, ecc. Questo ambiente moderno è indicato anche come "l'intelligenza ambientale", che è sensibile e adattabile ai bisogni umani e sociali moderni<sup>23</sup>. L'implementazione di tecnologie Smart Home è generalmente destinata a migliorare il comfort a casa per tutti attraverso l'automazione dei compiti domestici, rendendo più facile la comunicazione, e la maggiore sicurezza<sup>24</sup>. Gli utenti di una Smart Home sono in grado di migliorare la loro capacità di interagire con il loro ambiente domestico, eseguire attività e impegnarsi in attività che sarebbero stati impossibili o difficili<sup>25</sup>.

In un ambiente di vita arricchito in modo digitale, il concetto di "casa intelligente" è soggetto a varie definizioni e interpretazioni perché essere "intelligente" può implicare varie caratteristiche di una casa moderna altamente avanzata, come l'essere automatica, compatta, innovativa, comoda, dotata di auto-regolazione, reattiva, o funzionale.

Le Smart Home possono essere caratterizzate attraverso le seguenti cinque caratteristiche<sup>26</sup>:

- Automazione: la possibilità di ospitare dispositivi automatici o eseguire funzioni automatiche;
- Multi-funzionalità: la possibilità di eseguire diversi compiti o generare diversi risultati;
- Adattabilità: la possibilità di regolare (o regolare) per soddisfare le esigenze degli utenti;
- Interattività: la capacità di interagire con o consentire l'interazione tra gli utenti;
- Efficienza: la capacità di eseguire le funzioni in un risparmio di tempo, risparmio di costi e modo conveniente.



**Figura 36 Caratteristiche principali delle smart home<sup>e</sup>**

Le case intelligenti sono spesso difficili da gestire<sup>27</sup>. Anche i residenti appassionati di tecnologia che equipaggiano le loro case con vari gradi di controllo spesso trovano i sistemi di controllo scomodi<sup>28</sup>. La gestione di tale sistemi è ancora più difficile quando l'automazione si muove da controllo utente a una qualche altra modalità basata su regole di comportamento, perché le regole potrebbero non riflettere sufficientemente quello che l'utente desidera in realtà<sup>29</sup>. In un recente studio sulla domotica<sup>30</sup>, la maggior parte degli utenti hanno espresso il desiderio di tali sistemi per aiutare il risparmio, riducendo il calore, spegnendo le luci, gli elettrodomestici e altri dispositivi, eppure in casa gli strumenti attuali sono ancora piccoli, frammentati e spesso non sono integrati in sistemi domestici più grandi. Gli esseri umani hanno un rapporto difficile con l'automazione<sup>31</sup>, ma allo stesso tempo, l'automazione è un mezzo adatto per ridurre il consumo energetico in condizioni che implicano vigile attenzione a semplici controlli distribuiti, come termostati e interruttori elettrici.

L'intelligenza computazionale offre la promessa di comandi semplici e adattivi in grado di ridurre al minimo sforzo da parte dell'utente e ottimizzare l'uso di energia, ma il problema è come fornire al meglio questo aiuto senza causare disagio e incorrere nel pericolo di ignorare le reazioni dell'utente, che è il principale

<sup>e</sup> Quynh Lê, Hoang Boi Nguyen and Tony Barnett, Smart Homes for Older People: Positive Aging in a Digital World, Future Internet 2012, 4, 607-617; doi:10.3390/fi4020607

problema in sistemi di controllo troppo invadenti. I sistemi domestici automatici forniscono due tipi di controllo<sup>32</sup>: controllo utente (un'aggregazione di livello inferiore sono i controlli in più gruppi specifici della zona) e il controllo basato su regole, dove il sistema prende decisioni solitamente basati su un programma. Questi tipi di controlli sono difficili da gestire perché costringono una definizione statica di un complesso, una configurazione a priori che manca di una visione dinamica e olistica dell'abitazione.

Secondo un recente studio, gli occupanti considerano i sistemi di controllo basati su regole, come ad esempio la programmazione di un termostato essendo il più semplice esempio, come problematico e fonte di errori<sup>33</sup>.

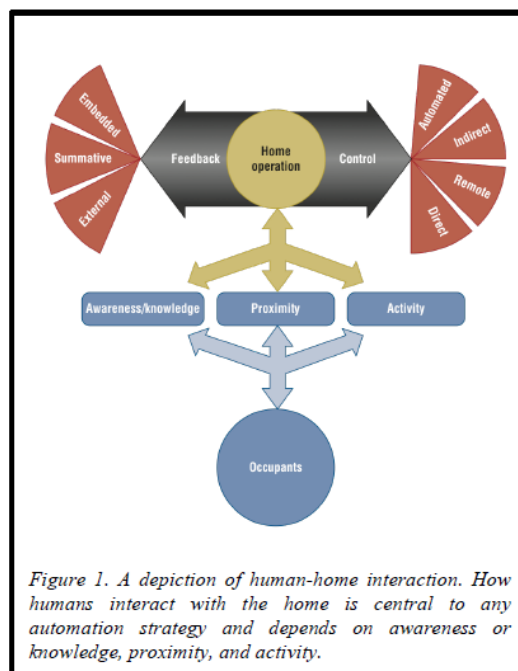
Ci sono due ragioni di tale fallimento dei sistemi di controllo:

- In primo luogo, l'interfaccia termostato è non standard e sempre complessa, questo fa sì che solo pochi utenti riescano a configurarli con successo.
- Più importante, tuttavia, è il design funzionale. La maggior parte delle persone conduce una vita più complesse e variabile rispetto alle semplici schemi delle regole che i dispositivi sono in grado di accettare; in tal modo, le persone finiscono per impostare programmi semplici che fanno funzionare i sistemi di riscaldamento e raffreddamento inutilmente quando gli utenti non sono presenti in casa.

Per sviluppare correttamente il progetto di un sistema di controllo domestico, occorre considerare due fattori:

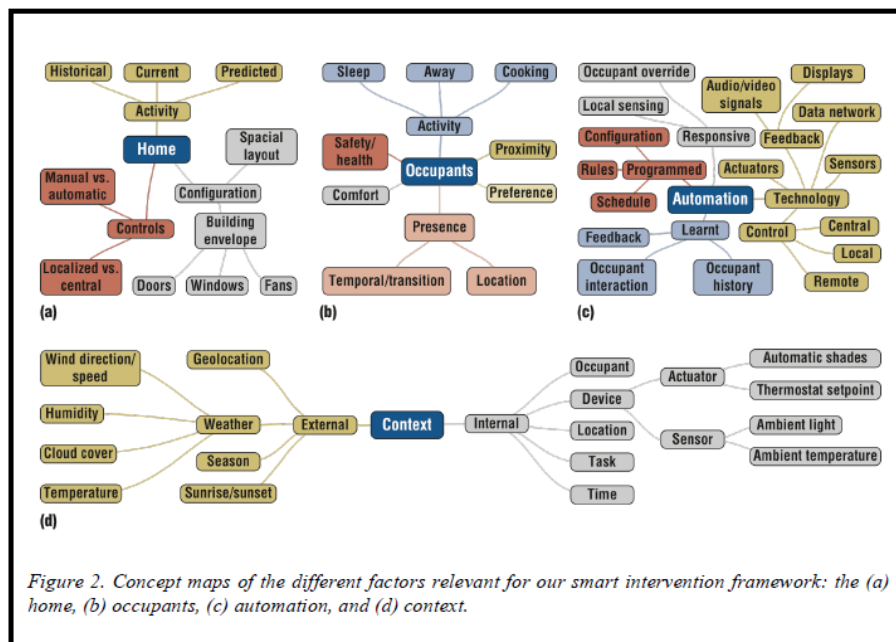
- Il costo di essere in errore: per esempio che cosa accadrebbe se tutte le luci della casa si spegnessero perché un individuo si addormenta sul divano? Il costo dell'errore è lo sforzo richiesto per ripristinare lo stato desiderato, ma può anche implicare ulteriori interventi tecnologici, come per esempio la necessità di includere maggiori informazioni nell'interfaccia sugli effetti sulle prestazioni quando il sistema non opera in condizioni ottimali per il risparmio energetico.
- L'appropriatezza dell'intervento smart è altamente contestuale: consideriamo ad esempio l'accensione della luce nel cuore della notte, che da un lato non deve alterare il ritmo circadiano degli individui, ma dall'altro svolgere una funzione di orientamento e di guida per evitare gli ostacoli e prevenire le cadute. Se lo stessa regolazione delle luce fosse attuata durante il giorno, sarebbe stata giudicata dagli utenti come poco appropriata.

Possiamo modellare, dal punto di vista concettuale, la smart-home con un ecosistema complesso, che comprende gli occupanti, i componenti fisici e operativi della casa, il contesto interno ed esterno e le dipendenze tra questi elementi. Le componenti operative (che possono anche comprendere aspetti della casa non tradizionalmente considerati come dispositivi tecnologici, come porte, finestre, ecc) sono i dispositivi che consentono agli utenti di svolgere compiti/azioni all'interno della casa sulle quali il sistema dovrà essere in grado di intraprendere delle azioni di controllo e di ricevere dei feed-back. Come gli utenti interagiscono con la casa è il punto centrale di ogni strategia di automazione, e dipende dalla conoscenza/consapevolezza, dalla prossimità e dalle attività.



**Figura 37 Schema dell'interazione utenti-smart home**

La Figura 37 mostra una mappa concettuale dei differenti fattori rilevanti per definire una struttura di gestione intelligente. Si distinguono tre aspetti: (a) la casa, (b) gli occupanti, (c) l'automazione. L'uso della casa da parte dei suoi occupanti è molto difficile da modellare e coinvolge numerosi fattori, ma considerando l'approccio più semplice possiamo identificare i seguenti modelli di attività: presenza, prossimità, salute e comfort



*Figure 2. Concept maps of the different factors relevant for our smart intervention framework: the (a) home, (b) occupants, (c) automation, and (d) context.*

**Figura 38 Mappa concettuale dei fattori rilevanti che definiscono una struttura di gestione intelligente**

#### 4.1 Revisione della letteratura scientifica: smart-home vs wellness

La sfida con le tecnologie smart in ambito domestico è quello di creare un ambiente che sia sicuro che riduca il pericolo di cadute, la disabilità, lo stress, la paura o isolamento sociale.<sup>34</sup>

Alcuni ricercatori si sono occupati di condurre una revisione sistematica della letteratura scientifica con lo scopo di rispondere alla seguente domanda di ricerca “Quale è la fattibilità delle tecnologie smart-home nel promuovere salute, benessere e qualità della vita rendendo possibile agli anziani di rimanere a vivere nella loro comunità ?”<sup>35</sup>

A tale scopo sono stati selezionati un totale di 1877 articoli sulla “smart home” dai principali data base per la ricerca<sup>f</sup>, tutti pubblicati su riviste referate e di queste ne sono stati selezionati 21 che soddisfano una serie di requisiti predefiniti dai ricercatori stessi e che sono stati utilizzati per l'estrazione dei dati e per la loro valutazione al fine di rispondere alla domanda di ricerca. La Figura 39 mostra i criteri di inclusione ed esclusione utilizzati per la compilazione della revisione sistematica della letteratura scientifica.

La Figura 40 riporta le principali caratteristiche dei 21 studi selezionati.<sup>g</sup>

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
<ul style="list-style-type: none"> <li>Assessed smart-home technologies.</li> <li>Published in English and available in full-text from peer review journals.</li> <li>Assessed effectiveness or feasibility.</li> <li>Set in a home environment.</li> <li>Included participants aged <math>\geq 45</math> years.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Published before January 2000.</li> <li>Set in other environments such as nursing homes or rehabilitations settings.</li> <li>Books, PhD or Masters theses and abstracts from conference presentations.</li> <li>Studies focussed on tele-health, tele-medicine or tele-rehabilitation.</li> <li>Narrative reviews and other systematic reviews.</li> </ul>

Inclusion and exclusion criteria.

**Figura 39 Criteri di inclusione ed esclusione degli studi sulla smart-home**

Study	Dosage	Key dependent variable	Primary outcome measure	Results	D+B score
Tomita et al. [26] <sup>36</sup>	2 years full time in home	Functional status	Primary: FIM. Secondary: IADL, mobility subsection of SIP and CHART	All functional motor measures except for the FIM Motor deteriorated significantly in the control group but not in the intervention group: SIP Movement ( $p<0.001$ ); IADL ( $p<0.05$ ); CHART Mobility ( $p=0.002$ ). FIM cognition scores were significantly higher in intervention group ( $p=0.006$ ).	18
Beckwith [43] <sup>37</sup>	NA	NA	NA	Ambient intelligence technologies can contribute to increased safety (especially to reduce falls).	NA
Boll et al. [27] <sup>38</sup>	NA	NA	NA	Participants felt that reminders regarding security and safety were important. The evaluation results show a preference for acoustic presentations, alone or in combination with visual and tactile output. Many participants felt they would be willing to use the ST in the future.	NA
Carabalona et al. [46] <sup>39</sup>	NA	NA	NA	The two forms of BCI require the user to have reasonable memory and the good cognitive function. High degrees of satisfaction were found for both types. Users found the BCI that used icons harder to use than the one which relied on spelling out the task-accuracy for the character/letter speller=80%, icon speller=50%.	NA
Courtney et al. [28] <sup>40</sup>	NA	NA	NA	Participants agreed to some STs but felt they wanted to be able to choose which ones they needed. Privacy can be a barrier to acceptance of ST unless the participant felt they needed a particular ST.	NA
Study	Dosage	Key dependent variable	Primary outcome measure	Results	D+B score
Courtney et al. [29] <sup>41</sup>	NA	NA	NA	Privacy was a barrier for the adoption of smart home technology for some participants. More often perception of need was the main reason for whether technologies were accepted or not.	NA
Craig et al. [45] <sup>42</sup>	NA	NA	NA	Time taken to select an option decreased slightly with 3 occasions ( $p=0.03$ ), mean number of errors decreased significantly ( $p<0.05$ ). With practice most participants were able to reduce their time to select (small reductions). Mean likert score for potential of ST to control devices in their own home 9.45 (SD=0.76) [1=not useful, 10=very useful].	NA
Davenport [30] <sup>43</sup>	NA	NA	NA	The house was able to successfully track the participant's location and frequency with which ST were utilised.	NA
Demiris et al. [31] <sup>44</sup>	NA	NA	NA	Most smart technologies were perceived as useful and most participants would agree to installation in their own home. Findings indicate an overall positive attitude.	NA
Demiris et al. [32] <sup>45</sup>	NA	NA	NA	Residents expressed overall positive perceptions of the sensor technologies and did not feel that these interfered with their daily activities	NA
Demiris et al. [33] <sup>46</sup>	NA	NA	NA	Overall positive response to ST. Emphasised that devices installed in their homes can be of great benefit when they are reliable, user friendly, can detect a range of emergencies, require minimal action on the part of the user, have low maintenance costs and are not obtrusive.	NA
Study	Dosage	Key dependent variable	Primary outcome measure	Results	D+B score

<sup>f</sup> MEDLINE, Web of Science, CINAHL, Scopus, Rehabilitation Reference Center, Nursing Reference Center, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Inspec, Compendex, SocINDEX, PsychINFO and Sociological Abstracts.

<sup>g</sup> Shariful Shikder, Andrew Price, Monjur Mourshed, A systematic review on the therapeutic lighting design for the elderly, CIB,2010

Franco et al. [34] <sup>47</sup>	NA	NA	NA	Daily and nocturnal activity could be well differentiated. The probability of having eaten, taken a bath and going to the toilet could be calculated each day, with eating the most accurate.	NA
Govercin et al. [35] <sup>48</sup>	NA	NA	NA	Wearable sensors were preferred over optical sensors because they worked outside the home. Those with an increased risk of falls were less concerned about privacy.	NA
Johnson et al. [36] <sup>49</sup>	NA	NA	NA	Favoured applications depended on individual impairments. Applications that most people favoured were the smart front door and voice activated commands. Many participants felt the STs were a good idea but not appropriate for them at the time.	NA
Judge et al. [37] <sup>50</sup>	NA	NA	NA	Participants felt the ST is occasionally unreliable but can help to improve independence.	NA
Lofti et al. [44] <sup>51</sup>	NA	NA	NA	Was able to detect abnormal behaviors that occurred with medication changes, such as wandering in the middle of the night.	NA
Martin et al. [38] <sup>52</sup>	NA	NA	NA	Overall staff perceived technology in a positive way and felt that ST supported their work. The service model is innovative and assists care staff to manage risks in a vulnerable population.	NA
<b>Study</b>	<b>Dosage</b>	<b>Key dependent variable</b>	<b>Primary outcome measure</b>	<b>Results</b>	<b>D+B score</b>
Rosenberg et al. [39] <sup>53</sup>	NA	NA	NA	Patient's significant others were ready to accept technology if it benefitted the patients. Technology that enhanced safety, promoted an active lifestyle and maintained intellectual abilities of the patients were welcomed. Ensuring technologies were incorporated into existing habits, were flexible and non-stigmatizing were essential for acceptability.	NA
Suryadevara et al. [40] <sup>54</sup>	NA	NA	NA	The sensor system registered when a participant was unwell and spent more time in bed and also when they spent longer amounts of time sitting on one day	NA
Tang et al. [41] <sup>55</sup>	NA	NA	NA	Usability: 3 participants found it easy to use. Adherence to medication: The context-aware prompting resulted in significantly better adherence (90.1%) as compared to the non-prompting (75.8%).	NA
Van Hoof et al. [42] <sup>56</sup>	NA	NA	NA	Most participants felt that STs could be used to support ageing-in-place and could be beneficial where traditional approaches may fail	NA

**Figura 40 Risultato dei 21 studi considerati<sup>h</sup>**

Note: Quality assessment scores, dosage and dependent variables are only reported for intervention studies. Intervention study highlighted in bold. D+B=Downs and Black quality checklist. ST=smart-home technologies; BCI=brain-computer interface; NA=not applicable; ND=not documented; FIM=Functional Independence Measure; IADL=Duke Older Americans Resources and Services Procedures' IADL; ADL=activities of daily living; SIP=functional mobility subsection of Dysfunction section of Sickness Impact Profile; CHART=Craig Handicap Assessment and Reporting Technique.

La revisione mostra come una vasta gamma di tecnologie sono disponibili per supportare gli anziani a vivere nelle proprie abitazioni: queste includono sensori attivi e passivi, sistemi di monitoraggio, sistemi di controllo ambientale e ausili elettronici alla vita quotidiana.

La maggior parte degli articoli identificati in questa revisione sistematica sono di tipo qualitativo nella applicazione. Alcuni studi hanno documentato se gli anziani sono stati in grado di utilizzare le tecnologie smart domestiche, altri hanno esaminato le preferenze per le diverse tecnologie e l'accettabilità complessiva dei dispositivi in ambiente domestico.

Altri risultati che derivano dalla revisione sistematica è che gli adulti più anziani e gli operatori sanitari considerano utili le tecnologie domestiche intelligenti. Queste forme di tecnologia sono state pensate per aumentare la sicurezza in tutta la casa. Molti partecipanti hanno ritenuto che le tecnologie smart possano contribuire a migliorare la loro indipendenza. Anche se negli studi identificati questo aspetto non è stato indagato formalmente è possibile che i miglioramenti nella sicurezza, la fiducia e l'indipendenza, possano anche avere un effetto positivo sulla qualità della vita in questa popolazione anziana.

La barriera principale per l'adozione di tecnologie Smart domestiche per gli anziani era preoccupazione per la propria privacy [28,29,31-35,39,42,43]. La privacy è quindi una considerazione cruciale nella progettazione di future tecnologie smart-home.

La maggior parte delle tecnologie smart-domestiche dovrebbero essere utilizzati con poca assistenza o formazione da parte degli utenti. Alcuni problemi di sicurezza sono stati identificati relativi al malfunzionamento della tecnologia; mettendo in evidenza l'importanza dei sistemi di emergenza per eventi come le interruzioni di corrente. Il costo delle tecnologie smart, che costituisce una possibile barriera alla diffusione di questa tecnologia, è un aspetto poco trattato nella letteratura scientifica (mentre gli articoli inclusi nella review considerano anche questo importante fattore).

I risultati hanno mostrato che le tecnologie smart-home sono in grado di rilevare con precisione il movimento e i comportamenti fuori dalla norma i [44] e si sono rivelati degli strumenti appropriati per

<sup>h</sup> Shariful Shikder, Andrew Price, Monjur Mourshed, A systematic review on the therapeutic lighting design for the elderly, CIB,2010



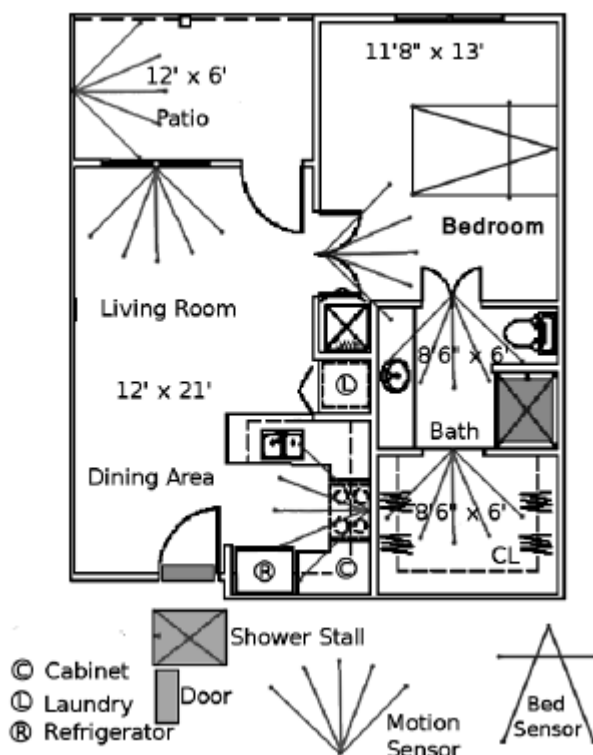
controllare vari dispositivi elettronici [45,46]. Fino ad oggi, solo uno studio randomizzato e controllato è stato effettuato per valutare l'efficacia delle tecnologie smart-home in una popolazione anziana [26].

## 4.2 Smart home: sensori

L'attività notturna e diurna degli anziani che vivono nella propria abitazione può essere analizzata mediante l'uso di una rete di sensori domestici.

Per esempio sensori PIR possono essere utilizzati per catturare l'attività in particolari zone della casa<sup>57,58</sup> o rilevare attività localizzate, come ad esempio il frigorifero, i pensili della cucina, il soffitto sopra la doccia, oppure il soffitto sopra la porta di ingresso per monitorare l'ingresso e l'uscita dall'abitazione.

La Figura 41 mostra un esempio di collocazione di sensori, all'interno di una casa di riposo (Tiger Place), costituita da appartamenti indipendenti che ospitano anziani con almeno una malattia cronica, come l'ipertensione, il diabete, malattie cardiache. All'interno di questa struttura, alcuni ricercatori hanno messo a punto un sistema di allerta basato su una rete di sensori che catturano gli schemi delle attività e dei comportamenti degli occupanti dell'appartamento. Un sistema automatico è in grado di rilevare i cambiamenti nei comportamenti e nelle attività generando una serie di allarmi che vengono poi valutati dal personale medico. Il sistema consente di individuare possibili problemi di salute fin dalle fasi preliminari, in modo da rendere possibili interventi precoci<sup>59</sup>.



**Figura 41** Tipico appartamento con sensori incorporati

I sensori di movimento PIR, collegati in rete attraverso il protocollo di trasmissione X-10, nel caso di movimento continuo, generano un evento ogni sette secondi; questo stratagemma viene utilizzato dal sistema per monitorare il livello di attività generale nell'ambiente, calcolando la densità di "eventi movimento" per unità di tempo: per esempio se i residenti hanno uno stile di vita sedentario, il numero di eventi per ora generati potrebbe essere nell'intorno di 50 per ora, mentre se i residenti nell'appartamento hanno uno stile di vita molto attivo, la frequenza di eventi per ora può raggiungere anche i 400 eventi per ora<sup>60</sup>.

Con riferimento alla Figura 41 un sensore pneumatico per letto viene installato sotto il materasso al fine di monitorare le diverse fasi del sonno: il sensore è in grado di monitorare la respirazione e le pulsazioni durante la notte<sup>61</sup>, il tempo trascorso a letto, l'agitazione dei soggetti nel proprio letto (Figura 42).



**Figura 42 Esempio di sensore pneumatico per letto**

Lo scopo della presente ricerca è quello di individuare quali sensori e algoritmi sono stati utilizzati nella letteratura scientifica per creare delle abitazioni smart destinate ad anziani, in modo da poter valutare la loro possibile applicazione nel controllo del sistema di illuminazione (per compiti visivi e di benessere) piuttosto che per monitorare le condizioni di salute in modo automatico e suggerire tempestivamente eventuali interventi terapeutici.

L'actigrafo è un dispositivo ampiamente utilizzato per lo studio del benessere degli anziani: ha le dimensioni di un comune orologio, che il paziente indossa al polso o alla caviglia. Rileva, tramite un oscillatore piezoelettrico, la quantità, il numero dei movimenti dell'arto e l'ampiezza di ciascuno di essi per 24 ore. Accanto a queste grandezze tradizionali, ci sono dispositivi in grado di rilevare i livelli di illuminamento in diverse bande del visibile (UV+RGB), di interfacciarsi con lo smart-phone per svolgere funzioni complesse, di monitorare la pressione sanguigna e il battito cardiaco e la temperatura superficiale della pelle.

I dati rilevati vengono memorizzati in una memoria tampone e successivamente scaricati da un apposito sw per la loro elaborazione (per esempio la costruzione dell'actigramma, ovvero una rappresentazione grafica della quantità di movimento in funzione del tempo trascorso). In ambito clinico, per la valutazione della qualità del sonno, la registrazione actigrafica viene interpretata mediante la lettura del diario del sonno (per capire se il paziente sta a letto fermo, se si è tolto l'actigrafo, se dorme), ma per le applicazioni di controllo dei sistemi domestici è spesso sufficiente incrociare i dati con quelli registrati da altri dispositivi.

La registrazione continua dell'attività motoria permette di distinguere l'alternanza tra veglia e sonno con accuratezza dell'85% (correlazioni pari a 0.85 con le registrazioni poligrafiche standard)<sup>1</sup>.

### 4.3 Presenza in casa e rilevazione sonno

Uno dei principali temi di ricerca nell'ambito delle intelligent-home è quello di rilevare se qualcuno è a casa. I mezzi utilizzati per raggiungere questo obiettivo sono essenzialmente due: monitoraggio del consumo di potenza elettrica di elettrodomestici o dispositivi (C), parametri ambientali (E), livelli di illuminazione, temperatura, data/ora, rumore, sensori di movimento di persone (M) e anche dell'aria<sup>62</sup>.

Tutti i fattori indicati sono significativi per il monitoraggio dell'occupazione degli ambienti, ma in letteratura i più utilizzati sono i primi due.

In generale, gli HOA (Home Occupancy Agent) cioè gli indicatori di occupazione della casa, sono suddivisibili sia in centralizzati, sia in locali.

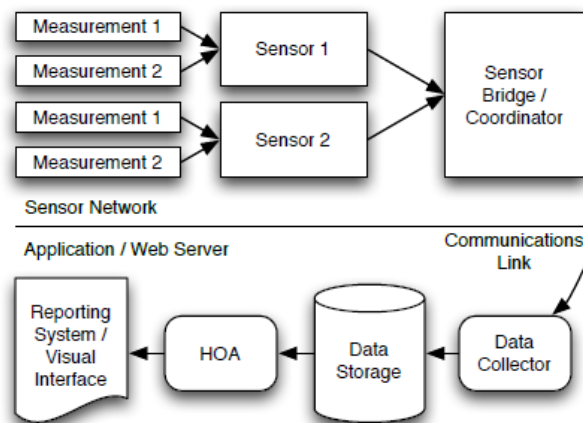
<sup>1</sup> Raghavendiran Srinivasan, Chao Chen, Diane J. Cook, Activity Recognition using Actigraph Sensor, in Proc. of the Fourth Int. Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data (ACM SensorKDD'10)



Gli indicatori centralizzati hanno il compito di raccogliere e memorizzare i dati dei sensori locali in modo interrotto o periodico. Gli indicatori riporteranno all'utente i dati in maniera aggregata in modo che siano accessibili via web o visualizzabili su di un display posto nell'abitazione (IHD in-home-display).

Gli indicatori locali monitorizzano i sensori ad essi connessi direttamente e prendono delle decisioni intelligenti basate sulle informazioni dei sensori che controllano. I diversi agenti presenti all'interno di un'abitazione hanno la necessità di comunicare tra di loro attraverso una serie di eventi, inneschi (trigger) parametri e allarmi.<sup>j</sup>

La Figura 43 mostra l'architettura di un sistema Home occupancy Agent che deve essere sufficientemente generale da essere implementabile in un'ampia gamma di contesti, deve essere estensibile, nel senso che si devono poter aggiungere componenti, come sensori e controlli senza revisioni dell'intero sistema (plug and play).



**Figura 43 Architettura di un sistema per il rilevamento della presenza di persone nella casa<sup>63</sup>**

Quando si misura il consumo di energia elettrica per rilevare l'attività degli occupanti, si ricercano le rapide variazioni (spikes) di carico elettrico (espresse in kW) che possono essere direttamente correlate con l'accensione e lo spegnimento, da parte degli occupanti, degli elettrodomestici.

Per prima cosa, occorre determinare il valore di riferimento del carico elettrico per l'abitazione allo studio, definito come *rest of the house* ( $C_R^E$ ) cioè il valore di riposo del carico elettrico. Ogni oscillazione sopra il margine di sicurezza ( $C_M^E$ ) deve essere considerato come un indicatore dell'attività degli occupanti.

Per esempio nell'implementazione del caso studio descritto da Makonin et al., il valore di tale parametro era pari a 0.9 kW, perché il consumo nelle condizioni di riposo ( $C_R^E$ ), dovuto a due frigoriferi, congelatore lo stand-by di tutti i dispositivi elettronici della casa) oscillava tra 0.2 kW e 0.7 kW

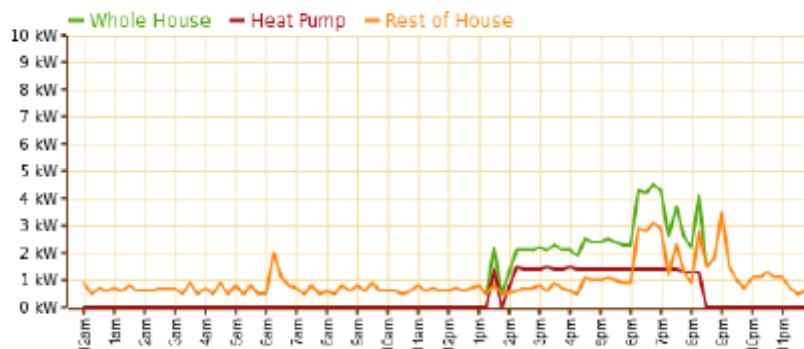
$$C_A^E = C_{A1}^E + C_{A2}^E + \dots + C_{Aa}^E .$$

$$C_R^E = C_T^E - C_A^E .$$

$$activity? = \begin{cases} true, & \text{if } C_R^E \geq C_M^E . \\ false, & \text{otherwise} . \end{cases}$$

$C_T^E$  è la misura della potenza per l'intera casa,  $C_{A1}^E, C_{A2}^E$  sono una serie di letture di potenza elettrica consumata (in numero di  $a$ ), dovute ad attività degli utenti o degli elettrodomestici, che per qualche motivo si desidera non considerare.

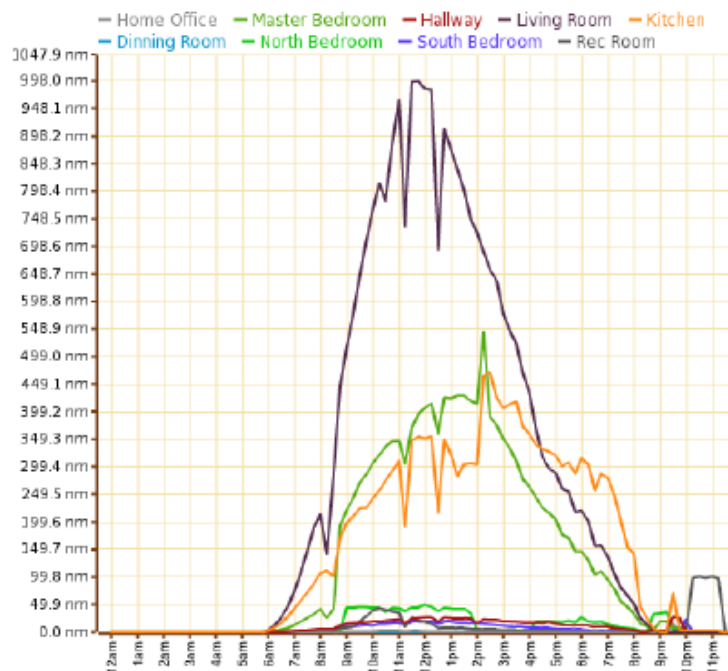
<sup>j</sup> Moslehi, K., Kumar, R.: Vision for a self-healing power grid. ABB Review, 21–25 (2006)



**Figura 44 Esempio di rilevamento dell'andamento della potenza elettrica nell'arco delle 24 ore. Valori misurati in kW**

La Figura 44 mostra la potenza impiegata al trascorrere nel tempo in un'abitazione, dove un misuratore di potenza elettrica è stato collegato all'alimentazione del sistema di riscaldamento: dalle informazioni di questo sensore possiamo filtrare il consumo del sistema di riscaldamento/raffrescamento, in quanto crea grandi variazioni nella potenza elettrica impiegata, spesso funziona anche quando non c'è nessuno in casa creando dei falsi positivi nella determinazione dell'occupazione.

In modo analogo, quando viene analizzata la luce ambientale con una rete di sensori sparsa in ogni locale, allo scopo di determinare l'occupazione o meno della casa, si ricercano le rapide variazioni di illuminamento su di un sensore che sono direttamente correlate con l'accensione o lo spegnimento della luce da parte degli utenti. L'andamento del livello di luce in un ambiente manca di uniformità dovuta alle fluttuazioni della luce naturale (che possono essere confuse con mancanza di attività) o a causa di azioni dell'utente come l'apertura e la chiusura di tende e tapparelle (che sono da interpretarsi come indicatore di un'attività da parte dell'utente). La definizione di un contesto ambientale (profile matrix) diventa fondamentale perché ciascuno spike registrato dai sensori di luminosità può essere interpretato o meno come indice dell'attività dell'utente nell'abitazione.



**Figura 45 Esempio di misura dei livelli di luce per ogni ambiente di una abitazione nell'arco di 24 ore (valori misurati in lux)**

Per esempio uno spike in una stanza buia orientata a nord durante il giorno dovrebbe essere un'attività, ma lo stesso spike in una stanza con affaccio a sud potrebbe non esserlo.

I dati della Figura 45 rilevati in una installazione di test, forniscono l'esempio di alcune interessanti anomalie: per esempio, la sala ricreativa nel seminterrato e lo studio al piano interrato sono camere che hanno finestre che si affacciano ad est e anche con le tende chiuse vi è un graduale picco di luce in quelle stanze. Al contrario le camere che si affacciano a nord, come la camera da letto a nord, non presentano questa anomalia. Anche l'alternarsi delle stagioni è un'informazione che deve essere considerata per la normalizzazione dei dati (riduzione artefatti), dato che varia la percentuale tra numero di ore della giornata in cui vi è "buio" rispetto a quelle in cui vi è "luce".

$$activity(n)? = \begin{cases} true, & \text{if } E_n^L \geq PM(n,p) . \\ false, & \text{otherwise} . \end{cases}$$

$PM(n,p)$  è la matrice di contesto, che è indicizzata dal sensore  $n$  e dal periodo del giorno, mentre  $E_n^L$  è la misura rilevata dal sensore  $n$ -esimo.

Un'altra applicazione è la rivelazione del sonno per la quale è possibile utilizzare solamente dei sensori di luce per determinare il periodo di sonno notturno da parte degli utenti. L'implementazione di tale algoritmo è alquanto difficoltosa, dato che gli schemi di riposo possono essere molto differenti da una abitazione ad un'altra e all'interno della stessa abitazione possono cambiare durante il tempo.

L'idea alla base dell'algoritmo è quello di rilevare degli spike in due ambiente specifici della casa per determinare l'ora di coricarsi e l'ora dell'alzata, supponendo che l'utente andrà a dormire prima della mezzanotte e che si alzerà prima di mezzogiorno (12:00 pm).

---

#### Algorithm 1 Detect Sleep

---

**Require:**  $date, lux_{min}$   
 $sleep_{start} \leftarrow 0$   
 $sleep_{end} \leftarrow 0$   
**for**  $t = 24 : 00 \rightarrow sunset(date), decrement$  **do**  
  **if**  $E_{SS}^L \geq lux_{min}$  **then**  
     $sleep_{start} \leftarrow t$   
  **end if**  
**end for**  
**for**  $t = 00 : 00 \rightarrow noon(date), increment$  **do**  
  **if**  $E_{SE}^L \geq lux_{min}$  **then**  
     $sleep_{end} \leftarrow t$   
  **end if**  
**end for**  
**return**  $sleep_{start}, sleep_{end}$

---

$E_{SS}^L$  indica il sensore di luce utilizzato per rilevare quando gli utenti vanno a letto

$E_{SE}^L$  indica il sensore di luce utilizzato per rilevare quando gli utenti si alzano

Prestazioni migliori si ottengono combinando le risposte di più sensori, possibilmente con diverse tecnologie: per esempio lo spike sulla potenza elettrica in cucina potrebbe essere confermato da un sensore PIR che rileva i movimenti e attiva la presenza nell'ambiente.

Molti degli oggetti elettrici ed elettromeccanici di tutti i giorni emettono una piccola quantità di rumore elettromagnetico (EM) durante il loro normale funzionamento: quando un utente realizza un contatto fisico il segnale elettromagnetico si propaga all'interno del corpo umano. Utilizzando un modulo radio configurabile di piccole dimensioni (che possa essere indossato) e basso costo, è possibile rilevare e classificare in tempo reale tali segnali, realizzando un riconoscimento al tatto di oggetti.

L'idea dei ricercatori è quella di monitorare le interazioni dei soggetti con gli oggetti: questo offre la possibilità di accedere a una serie di informazioni puntuali e contestuali che rivelano in modo immediato l'attività degli utenti all'interno dell'ambiente.

La Figura 46 mostra il prototipo di studio costruito dai ricercatori modificando un dispositivo commerciale, mentre la Figura 47 mostra gli oggetti che è stato possibile riconoscere con il dispositivo descritto.

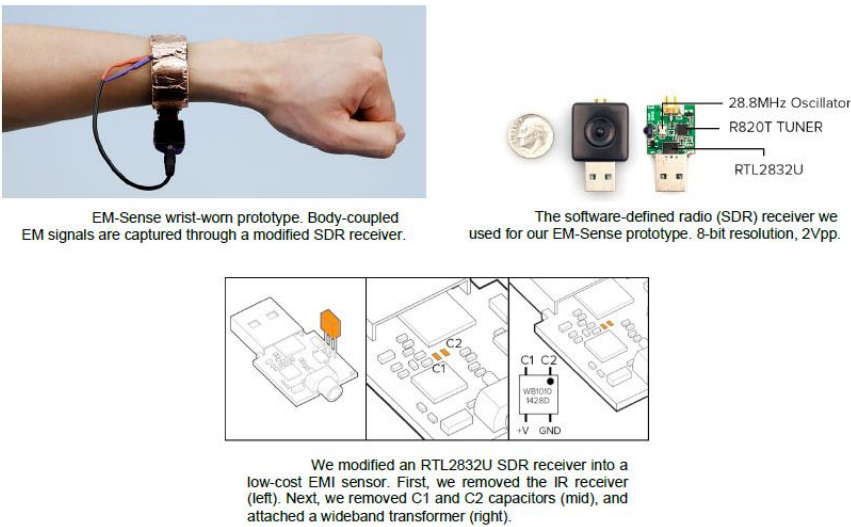


Figura 46 In alto a sinistra prototipo utilizzato dai ricercatori per lo studio, a destra il modulo radio originale utilizzato. In basso la descrizione delle modifiche apportate al modulo radio.

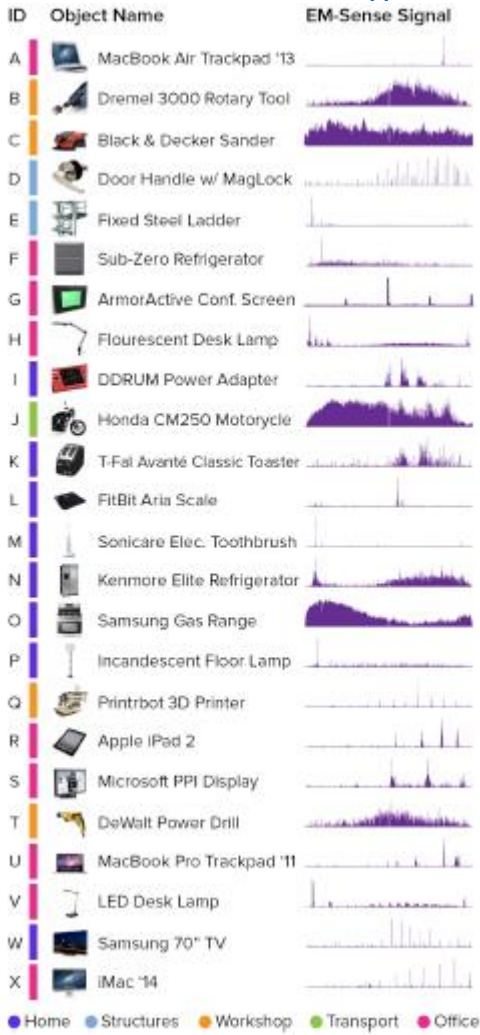


Figura 47 La figura mostra gli spettri EM (0 Hz a 1 MHz) catturati dal prototipo per diversi oggetti presenti in differenti contesti applicativi

#### 4.4 Implementazione di una illuminazione adattativa per la casa Circadiana

Quando qualcuno si alza dal letto, bisognerebbe evitare di disturbarne il ritmo circadiani di sonno, fornendo una adeguata (ma non completa) luce per orientarsi<sup>64</sup>.

La Figura 48 mostra una possibile implementazione. Il sistema deve essere in grado di dedurre se gli occupanti stanno dormendo, se la luce è accesa o spenta, il numero di azionamenti dell'interruttore compiuti dall'utente.

La serie di regole della figura seguente sono attivate quando si verifica un evento, lo stato di sonno è determinato da un algoritmo che rileva la risposta di una serie di sensori. La prima regola accende la luce nella stanza a un livello che non produca disturbo del ritmo circadiano degli occupanti della stanza. Se l'interruttore è premuto una volta, le luci sono spente e gli occupanti dormono, allora il sistema setta l'illuminazione a un livello tale per cui sia possibile l'orientamento ma che non pregiudichi la possibilità di un rapido ri-addormentamento del soggetto.

La seconda regola sostituisce la prima, quando l'utente clicca due volte sull'interruttore; in questo caso l'utente vuole svegliarsi e quindi le luci della camera da letto verranno accese alla massima intensità.

La terza regola considera uno scenario in cui l'utente non è in modalità addormentamento e preme una sola volta sul comando: in questo caso le luci della stanza verranno attivate alla massima intensità.

L'ultimo caso da considerare è quando l'utente preme l'interruttore una sola volta quando la luce è accesa: in questo caso il sistema dovrà provvedere a portare il livello di illuminamento nella stanza al valore minimo.

Il sistema proposto opera in maniera molto simile a un comune interruttore, evitando però una profonda alterazione del ritmo circadiano dovuta all'accensione alla massima intensità delle luci della casa. Il costo dell'errore del sistema è molto basso perché l'utente può facilmente correggere il comportamento del sistema automatico con un ulteriore azionamento dell'interruttore.

```
HOME_STATE (variables):
    home_sleeping = yes;
    bedroom_light_level = 0;
    bedroom_light_switch = off;

RULES:
    WHEN bedroom_light_switch IS pressed_once AND
        WHEN bedroom_light_switch WAS off AND
        WHEN home_sleeping IS yes
        SET bedroom_light_level = CIRCADIAN_LIGHT_LEVEL;
    WHEN bedroom_light_switch IS pressed_twice
        SET bedroom_light_level = MAX_LIGHT_LEVEL;
    WHEN bedroom_light_switch IS pressed_once AND
        WHEN home_sleeping IS no
        SET bedroom_light_level = MAX_LIGHT_LEVEL;
    WHEN bedroom_light_switch IS pressed_once AND
        WHEN bedroom_light_switch WAS on
        SET bedroom_light_level = MIN_LIGHT_LEVEL;
```

*Circadian-rhythm-aware lighting at night. The system must be able to infer that the occupants are sleeping. Localized sensors in the room need to coordinate action and feedback to raise the ambient light level in the room until it has reached a lighting level below what would disturb the occupant's circadian sleep rhythms.*

Figura 48 Luce circadiana in camera da letto

Monitorare l'occupazione della casa utilizzando delle misure di potenza e dei sensori di luce ambientale è il primo passo per il raggiungimento HVAC system. Nell'esempio presentato l'accensione o lo spegnimento dell'allarme viene utilizzato come indicatore dello stato di occupazione o meno della casa.

Quando la casa è vuota, allora può essere attivato il sistema di risparmio energetico, cambiando l'impostazione del termostato e spegnendo parte dei carichi, come ad esempio i display ambientali.

È possibile mandare un messaggio specifico a ciascun dispositivo, oppure mandare un messaggio sulla rete informativa che lo stato della casa è cambiato. Al ritorno degli occupanti, lo stato della casa è nuovamente aggiornato. Se occorre gestire anche il raffrescamento o il raffreddamento della casa, sarebbe di grande utilità prevedere quando gli occupanti presumibilmente faranno ritorno a casa in modo da poter pre-riscaldare o raffreddare la casa.

La Figura 49 mostra come questo risultato possa essere raggiunto attraverso una serie di regole con un sistema di apprendimento on-line; il sistema non copre ovviamente tutte le situazioni per le quali l'utente possa desiderare riprogrammare il riferimento di temperatura nella propria casa. La prima regola dice che quando il sistema di sicurezza è attivato, allora la casa è vuota e una serie di azioni di risparmio energetico possono essere intraprese (considerare la casa vuota, modificare il riferimento per la temperatura ambiente, spegnere tutti i display informativi della casa).

La seconda regola specifica il comportamento quando la casa non è occupata, ma c'è un'alta possibilità che gli occupanti faranno ritorno entro 30 minuti: il sistema aumenta progressivamente il riscaldamento (riscaldamento se l'incremento di temperatura è negativo), in modo tale che al ritorno gli occupanti trovino una temperatura più piacevole.

La terza regola dice che gli occupanti sono a casa quando il sistema di sicurezza è disattivato: quando l'utente è a casa, il setting del termostato viene cambiato al valore predefinito, vengono accesi tutti i display informativi della casa e il sistema è settato nella modalità in casa.

Utilizzando le informazioni storiche sull'occupazione, il costo dell'errore è molto basso: infatti se l'utente torna a casa prima del previsto, il settaggio del sistema di riscaldamento/raffrescamento viene cambiato nell'istante stesso in cui l'utente entra a casa (caso pessimo) e si avrà un comfort non ottimale, ma un risparmio energetico viene comunque garantito. Il costo dell'errore è comunque minore se comparato a quello prodotto da un termostato programmabile e inoltre evita all'utente il fastidio di accendere l'impianto al suo ritorno a casa.

Se l'utente torna a casa più tardi del previsto, sarà massimizzato il suo comfort, ma non il risparmio energetico (ho consumato dell'energia per riscaldare/raffrescare una casa vuota). Occorre poi considerare il vantaggio che deriva dal non dover preoccuparsi della programmazione del termostato.

Disporre di un sistema di regole (comprensibili dall'utente che pertanto è in grado di modificarle) che si adatta in funzione del comportamento dell'utente, consente di ottenere un bilanciamento tra comfort ed efficienza energetica.

Apprendimento online. Idealmente il sistema dovrebbe essere in grado di regolare il proprio modello interno in tempo reale non appena nuovi esempi di attività diventano disponibili. Ciò permetterebbe all'algoritmo di adattarsi ai cambiamenti nella routine dell'utente nel tempo.

```
HOME_STATE (variables):
  home_occupied = yes;
  alarm_system = disarmed;
  temp_setpoint = 21.0;
  TEMP_INCREMENT = VACANT_TEMP_SETPOINT / 2;

RULES:
  WHEN alarm_system IS armed_away
    SET home_occupied = no AND
    SET temp_setpoint = VACANT_TEMP_SETPOINT AND
    SET ambient_displays.send_cmd = 'turn off' AND
    SET automation.send_cmd = 'set away profile';
  WHEN alarm_system IS armed_away AND
    WHEN home_occupied 95% yes WITHIN_TIME - 30 MIN
    SET temp_setpoint += TEMP_INCREMENT
  WHEN alarm_system IS disarmed
    SET home_occupied = yes AND
    SET temp_setpoint += TEMP_INCREMENT AND
    SET ambient_displays.send_cmd = 'turn on' AND
    SET automation.send_cmd = 'set at home profile';
```

Figure 4. Electricity and heating cost-savings with occupancy detection. When a home is unoccupied, it can be put into power-saving mode by changing the thermostat setpoint. When there's a high chance (in this case, 95 percent) that the occupant will be home within 30 minutes, the system slowly increases the heat.

**Figura 49 Regole per la gestione automatica del raffrescamento/Riscaldamento di una abitazione in funzione della presenza o meno degli utenti**

#### 4.5 Caso Studio: ADAPTIVE CIRCADIAN HOUSE – HONDA SMART HOME US

Honda smart home è un progetto di una casa domotica ottimizzata per dal punto di vista circadiano, dotata di un sistema di illuminazione a LED ad alta efficienza. L'illuminazione è stata progettata per minimizzare l'alterazione del ritmo circadiano degli occupanti, per supportare al meglio le funzioni cognitive durante il giorno e migliorare la sicurezza e la qualità del sonno durante la notte<sup>k</sup>.

L'illuminazione a LED utilizzata all'interno della Honda Smart Home non è solo cinque volte più efficiente rispetto all'illuminazione convenzionale, ma è stata anche progettata per favorire la salute e il benessere degli occupanti della casa. Honda ha lavorato con i ricercatori del California Lighting Technology Center presso UC Davis per implementare una nuova logica di controllo del colore della luce negli ambienti. Imitando i cambiamenti naturali della luce del giorno che si verificano dalla mattina alla sera, il progetto dell'illuminazione circadian-friendly permette agli occupanti di selezionare le scene di luce che si adattano ai ritmi circadiani degli occupanti e supportano la visione notturna. Di notte, le luci ambra del corridoio, per esempio, forniscono abbastanza luce per navigare attraverso la casa al buio senza influire sul fotopigmento nell'occhio umano chiamato rodopsina che aiuta gli esseri umani a vedere in condizioni di scarsa illuminazione. Ciò consente agli occupanti della casa di muoversi in modo sicuro e tornare a dormire rapidamente e facilmente<sup>l</sup>.

L'illuminazione a LED di cui è dotata la casa è stata progettata per ridurre al minimo il carico di energia in modo tale che il consumo non sia superiore alla produzione realizzata attraverso pannelli fotovoltaici. Il

<sup>k</sup> <http://cltc.ucdavis.edu/project/adaptive-circadian-lighting-demonstration-honda-smart-home-us>

<sup>l</sup> <http://www.hondasmarthome.com/tagged/lighting>



sistema di controllo dell'illuminazione adatta i livelli sulla base dell'occupazione dei diversi ambienti, in modo da ridurre le perdite nei periodi di inoccupazione o di scarsa attività.



Figura 50 Vista d'insieme di un ambiente interno alla Honda Smart Home



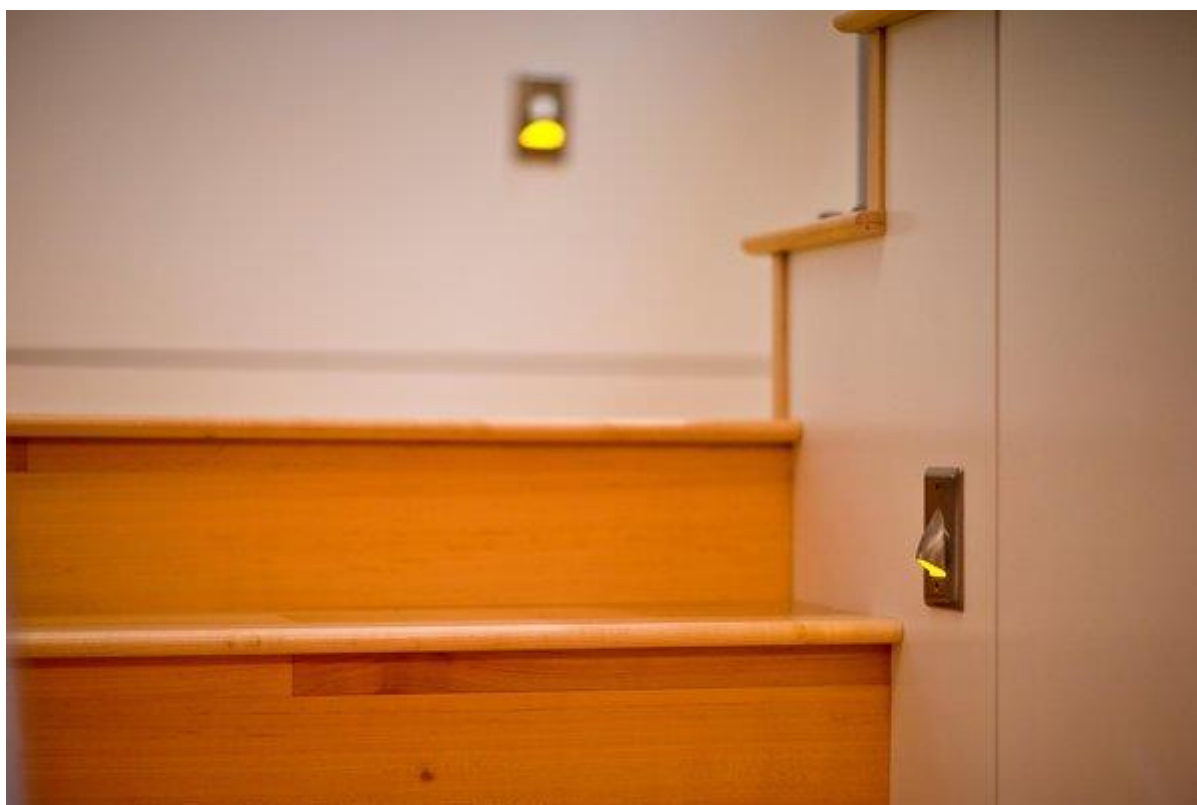


Figura 51 Dettaglio illuminazione delle scale

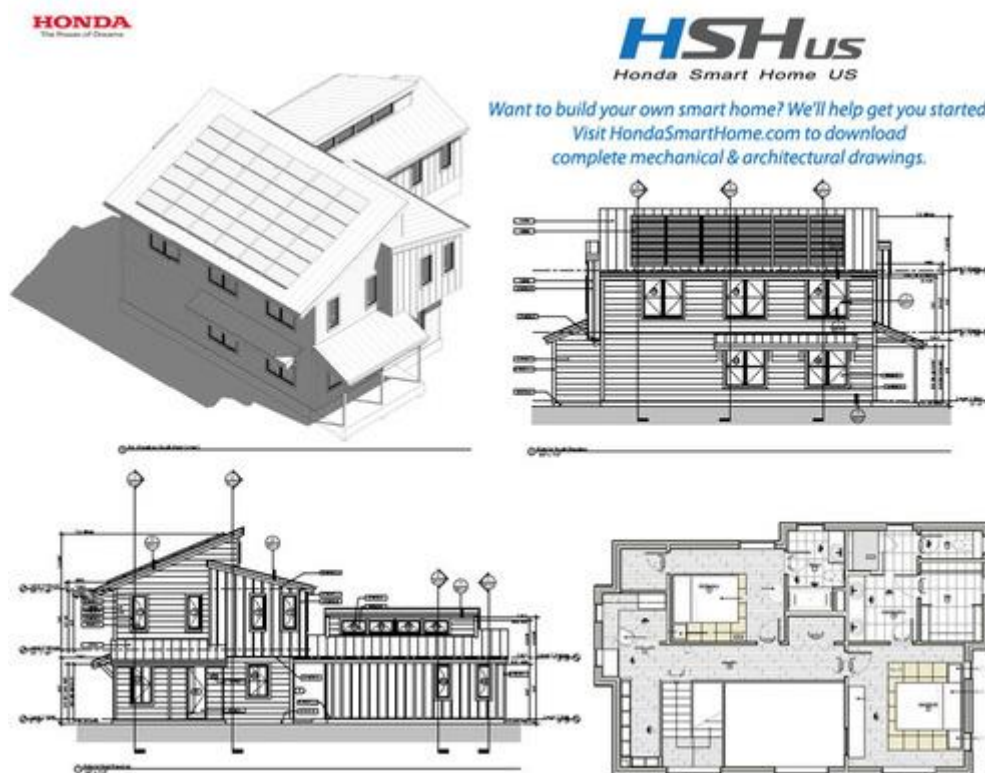


Figura 52 Pianta e prospetto della Honda Smart Home

Le caratteristiche principali relative all'illuminazione di questa abitazione possono essere riassunte nei seguenti punti:

1. Utilizzare la luce del giorno per quanto possibile: in questo modo si risparmia energia elettrica, destinata all'illuminazione artificiale, sia al riscaldamento in inverno. L'obiettivo viene raggiunto con un'efficace progettazione degli infissi e dei lucernai in modo da avere luce naturale all'interno senza abbagliamento.
2. Ricorso a un'illuminazione a LED con elevate temperature di colore (5000-6500K), se è necessario rafforzare l'illuminazione diurna. Questo tipo di rinforzo deve essere spento dopo l'inizio del tramonto.
3. Utilizzo di una illuminazione a LED con basse temperature correlate di colore (2200-2700K) con livelli di illuminazione più bassi, dopo il tramonto.
4. Evitare l'uso di schermi di computer e dispositivi di visualizzazione simili a meno che non si sta utilizzando F.lux<sup>m</sup> o simili mezzi per ridurre l'esposizione alla componente blu.
5. Spegnerne tutti i media (TV, tablet, PC) e utilizzare l'illuminazione a basso livello, almeno 30 minuti prima di andare a dormire.
6. Le luci della notte dovrebbero essere di basso livello di colore rosso o rosso-arancio
7. Il risparmio energetico si ottiene solo accendendo l'illuminazione quando necessario e rendendo regolabili i diversi apparecchi di illuminazione.

## 5 Caso Studio: Controllo del Sistema di illuminazione in una smart-home

Il caso studio presentato è quello relativo al progetto di ricerca europeo "Ambient Light Guiding System for Mobility Support of Elderly People (Guiding Light)", finanziato all'interno del programma Ambient Assisted Living Joint Programme (AAL-JP).

Nel seguito saranno illustrati di alcuni dettagli implementativi dei prototipi dei sistemi di illuminazione per anziani sviluppati da Bartenbach per la sperimentazione sul campo; in particolare verranno descritte le modalità di funzionamento dei sensori utilizzati per identificare la posizione degli utenti all'interno degli appartamenti e per rilevare alcune attività di interesse per la possibile interazione con la luce.

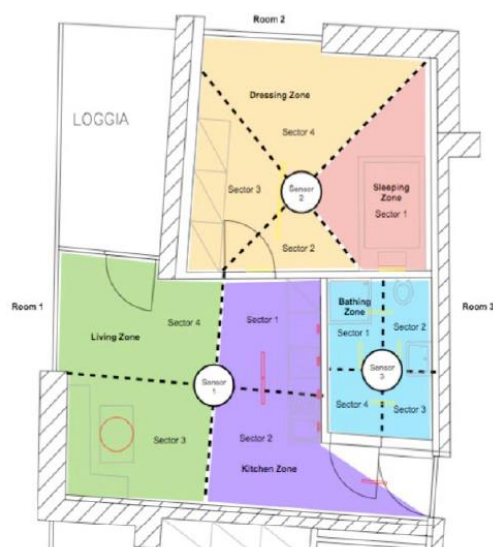
In questo progetto i ricercatori hanno sviluppato uno strumento di monitoraggio della mobilità per le famiglie composte da una sola persona che si basa su rilevatori di movimento standard passivi a infrarossi, di solito utilizzati nella domotica. Utilizzando più sensori in un appartamento - ogni movimento indica la presenza di un soggetto in un settore specifico (vedi Figura 37) – è possibile dedurre un profilo di movimento all'interno dell'appartamento, che a sua volta può essere utilizzato come indicatore per l'attività quotidiana.

Le informazioni relative alla descrizione degli algoritmi sono state tratte dal report "Ambient Light Guiding System for the Mobility Support of Elderly People- Implementation Report".

Nell'implementazione, il segnale del sensore PIR è impostato su "true" immediatamente dopo il rilevamento di movimento dell'utente, ed è impostato su "false", se non è stato rilevato alcun movimento per un secondo. Ci sono diversi algoritmi per la gestione di questi dati provenienti dai sensori PIR. Assumendo ad esempio, una zona pranzo divisa in tre settori ciascuna dotata di un sensore PIR e quattro istanti temporali di misura, i sensori PIR potrebbero essere attivati in modo diverso in ogni istante di misura. Supponiamo un trigger del settore 1 e il settore 2 all'istante  $t_1$ , il settore 1, il settore 2 e 3 all'istante  $t_2$ , settore 2 all'istante  $t_3$ . All'istante  $t_4$ , non vi è alcuna attivazione.

---

<sup>m</sup> <https://justgetflux.com/>



**Figura 53** Suddivisione in diversi settori dell'appartamento attraverso sensori PIR che consentono l'attribuzione di movimento ad aree specifiche all'interno dell'appartamento

Nello schema A, il punteggio è la somma del numero di attivazioni per ciascun istante di campionamento. Nella variante B il punteggio è la somma del numero di attivazioni per ciascun istante di misura diviso per il numero massimo delle possibili attivazioni. Nella variante C identifichiamo attività con valore "1", se c'è qualche innesco all'interno dei tre settori per ciascun istante di campionamento.

Variant A	t1	t2	t3	t4	Amount	Mean
Sector 1	x	x				
Sector 2	x	x	x			
Sector 3		x				
Result	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>1,5</b>

Variant B	t1	t2	t3	t4	Amount	Mean
Sector 1	x	x				
Sector 2	x	x	x			
Sector 3		x				
Result	<b>2/3</b>	<b>3/3</b>	<b>1/3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>

Variant C	t1	t2	t3	t4	Amount	Mean
Sector 1	x	x				
Sector 2	x	x	x			
Sector 3		x				
Result	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0,75</b>

I rilevatori di movimento di tipo PIR, in generale, rilevano solo il movimento di persone e non possono segnalare direttamente la presenza di una persona. Se una persona è seduta immobile per un tempo abbastanza lungo (es. seduta sul divano a guardare la TV), diventerà invisibile al sensore PIR standard. Tuttavia, riconoscere se una persona ha lasciato la camera e/o l'appartamento è un'informazione importante per interpretare correttamente gli altri parametri. Un approccio tipico per rilevare questa condizione è quella di utilizzare un intervallo di timeout sufficientemente lungo dopo il rilevamento dell'ultimo movimento: trascorso questo intervallo di tempo, se nessun'altra attivazione si è verificata allora posso concludere che la persona ha lasciato la stanza o l'appartamento. Tuttavia, questo approccio non funziona molto bene nelle situazioni in cui il soggetto è approssimativamente immobile (come mentre guarda la TV o dorme in camera da letto).

È possibile ovviare a questo inconveniente modellando il problema attraverso una macchina a stati finiti che indica in ogni istante se una persona è presente o meno nell'appartamento.

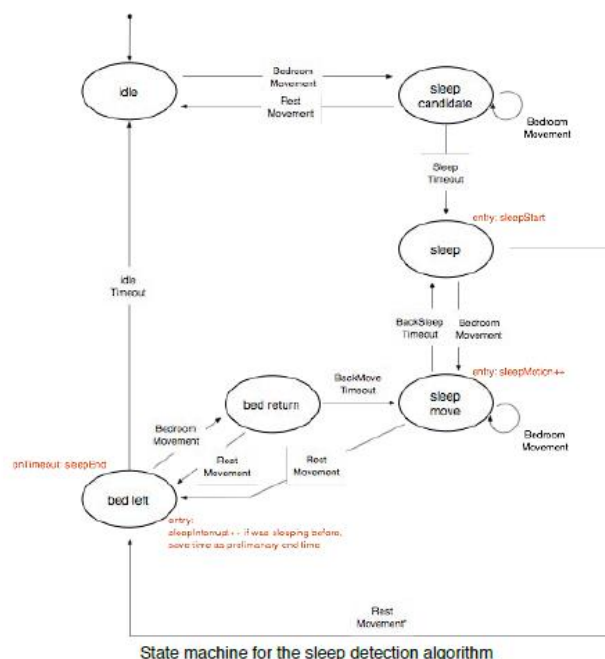
L'ipotesi è che la persona può lasciare l'appartamento solo attraverso la porta principale, vicino alla quale è posto un rivelatore di movimento o meglio un contatto che indica l'apertura della porta stessa. Quindi, se il rivelatore di movimento vicino alla porta era l'ultimo a innescare un segnale (oppure il contatto sulla porta dell'appartamento ha segnalato l'apertura della stessa) sono alte probabilità che, se non si registrano altri movimenti successivi all'interno dell'appartamento in un lasso di tempo relativamente breve, la persona abbia effettivamente lasciato l'appartamento.

### 5.1 Rilevamento del sonno

L'algoritmo di rilevamento sonno cerca di dedurre i periodi di sonno dal flusso dei dati degli eventi grezzi. Per questo si considera il movimento nella camera da letto e il resto dell'appartamento. Se l'ultimo evento di movimento è accaduto nella camera da letto e per un certo periodo di tempo non viene rilevato alcun altro movimento, si assume l'inizio del sonno. I movimenti durante il sonno sono considerati dal sistema. Le interruzioni brevi di sonno, come quando ci si deve alzare per andare in bagno sono rilevati dal sistema. La fase di sonno è considerata conclusa quando la persona lascia la camera da letto per un certo tempo minimo. Il seguente diagramma descrive l'algoritmo di rilevamento con maggiore dettaglio. (Figura 38).

L'algoritmo utilizza solo dei sensori di movimento per rilevare i periodi di sonno: di conseguenza ci possono essere delle situazioni applicative per le quali l'esatto periodo di sonno non può essere rilevato correttamente. Se una persona rimane nella camera da letto dopo il risveglio senza movimento, anche questo intervallo di tempo sarà ancora classificato come il sonno. Ancora, le misure estratte dall'algoritmo

di rilevamento del sonno dovrebbero dare informazioni preziose sulle abitudini di sonno delle persone. Il sistema di rilevamento del sonno utilizza molti parametri per l'identificazione dei periodi di sonno all'interno di un intervallo temporale predefinito.



**Figura 54 macchina a stati utilizzata per il rilevamento del sonno**

Parameter	Description
Sleep Save Event List	Comma-separated list of ID's of sensors located in the sleeping area
Sleep Back Sleep Timeout	Comma-separated list of ID's of sensors not belonging to the sleeping area
Sleep Back Move Timeout	Time that needs to pass by with no further events, after the last motion event in the sleep area happened, before sleep-start is assumed.
Sleep Save Event List	Saves all considered events for the sleep detection in a text file (mainly only interesting for debugging purposes)
Sleep Back Sleep Timeout	Time that needs to pass by with no further events, after a motion event during sleep has been detected, to get back into the standard sleep state.
Sleep Back Move Timeout	Time that needs to pass by with no further events, after the person got back to the bedroom again during a sleep phase in order to get back into the sleep move state (and finally the sleep state).
Sleep Idle Timeout	Time that needs to pass by with no further events inside the sleeping area, before sleep end is assumed and the sleep period is ended.

**Figura 55 Parametri considerati dalla macchina a stati finiti per determinare i periodi di sonno.**

L'uscita dell'algoritmo di rilevamento del sonno è un elenco di periodi di sonno all'interno di determinato intervallo di tempo composto delle informazioni riportate in Figura 56.

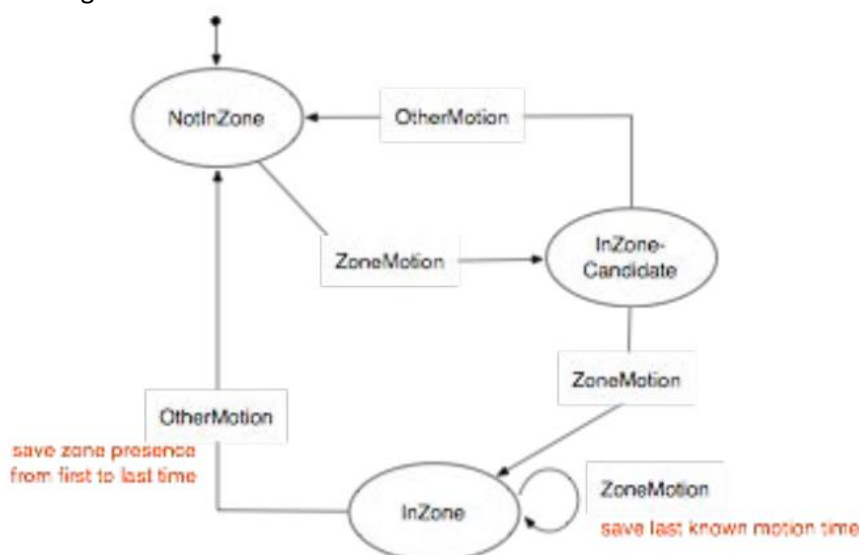
Out Parameter	Description
Sleep-Start	Start-Time of the sleep.

Sleep-End	End-Time of the sleep.
Moves	Number of moves during sleep.
Interrupts	Number of times the sleeping area has been left during the total sleep time.
Duration	Complete duration of the sleep (from start-time to end-time).
Duration	Duration of sleep within the plain sleep state (i.e. no motion occurred).
Deep-Sleep Duration	Duration of sleep within the plain sleep state (i.e. no motion occurred).

Figura 56 Parametri in uscita forniti dal sistema per la stima degli intervalli di sonno

## 5.2 Rilevamento delle persone

Questo algoritmo cerca di determinare la presenza degli utenti in diverse zone della casa attraverso l'elaborazione dei segnali "grezzi" rilevati dai sensori di movimento. L'idea è che se ci sono eventi consecutivi in una zona senza eventi in altre zone, allora è probabile che l'utente sia presente nella zona dove si sono verificati gli eventi. L'algoritmo di base è basato su una semplice macchina a stati illustrata nella Figura 57.



OtherMotion: a motion event that occurred outside the zone  
 ZoneMotion: a motion event that occurred within the zone

Figura 57 macchina a stati per rilevare la presenza degli utenti

## 6 Alimentazione DC nelle abitazioni per l'illuminazione

Per valutare i possibili benefici in un prossimo futuro della presenza di una rete di distribuzione dell'energia elettrica in corrente continua all'interno di un edificio, occorre considerare due aspetti:

- La diffusione delle sorgenti LED che vanno a sostituire le lampade tradizionali all'interno degli apparecchi di illuminazione destinati all'ambiente domestico
- La possibilità di installare impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica in modo da ridurre la dipendenza delle abitazioni private dalla rete elettrica pubblica.

Ad oggi tutti gli edifici privati sono dotati di distribuzione dell'energia in corrente alternata: questo fatto implica che l'elettricità generata attraverso i pannelli fotovoltaici non possa essere utilizzata direttamente ma è necessario una conversione a 230 VAC/50 Hz attraverso un dispositivo detto inverter con un'efficienza



≥95%. L'energia ricavata dalla luce solare non sempre è disponibile quando necessario, (es. alla sera) e per questo motivo molti impianti delle abitazioni sono ancora collegati alla rete elettrica pubblica. Ci sono però periodi della giornata in cui la produzione di energia elettrica ottenuta attraverso i pannelli fotovoltaici eccede il consumo dell'unità abitativo e quindi si ha un'immissione del surplus all'interno della rete elettrica pubblica<sup>n</sup>.

Nel recente passato, questa è stata un'opzione molto redditizia, perché le tariffe di immissione erano tenute artificialmente alte. Durante la recente recessione, gli incentivi a favore dell'energia rinnovabile sono stati gradualmente ridotti e l'immissione nella rete elettrica non è più un'opzione così economicamente conveniente come qualche anno fa<sup>o</sup>.

Da questa considerazione e dalla diffusione delle sorgenti LED (sorgenti alimentabili in corrente continua) nasce l'idea di progettare l'impianto elettrico degli edifici in modo da poter usare la corrente continua per le proprie esigenze di illuminazione, eliminando in questo modo la necessità di utilizzare raddrizzatori e inverter con le relative inefficienze. Tutta l'energia in eccesso prodotta durante la giornata può essere immagazzinata in una batteria tampone che assicura la fornitura quando non c'è la luce del sole. L'impianto interno in corrente continua potrebbe costituire una fonte di alimentazione elettrica per la maggior parte dei piccoli elettrodomestici, per il sistema di illuminazione e a tutti gli elementi di controllo della smart home.



**Figura 58 Possibili evoluzioni dell'impianto elettrico nella casa del futuro**

Il valore di tensione in questo tipo di rete in corrente continua potrebbe essere pari a 24 V, poiché questa è il valore della tensione più efficiente in rapporto alle lunghezze e alle sezioni dei cavi (minimizzare le cadute di tensione per effetto della resistenza dei conduttori).

Qualora non ci sia abbastanza luce solare per ricaricare la batteria, l'energia necessaria all'abitazione può essere fornita dalla rete pubblica.

Quest'ultima connessione sarebbe sfruttata da un grande numero di elettrodomestici come lavatrici, frigoriferi, forni elettrici, scaldabagni e pompe di calore che sono alimentati meglio dalla corrente alternata

<sup>n</sup> <http://www.elettronicanews.it/alternata-o-continua-nella-casa-del-futuro/>

<sup>o</sup> <http://www.elettronicanews.it/alternata-o-continua-nella-casa-del-futuro/>

rispetto alla continua. I sistemi smart che ottimizzano la gestione di tali sistemi potrebbero però essere alimentata in corrente continua.

Alcune ricerche in questo settore sono già state compiute come quella dei ricercatori della Carnegie Mellon University, che hanno esaminato la fattibilità economica di impiegare una rete in corrente continua per l'alimentazione dell'impianto di illuminazione di un edificio commerciale. I ricercatori hanno comparato una soluzione LED rispetto a una basata su lampade fluorescenti lineari alimentate o da un sistema di alimentazione in corrente continua o dalla tradizionale rete in corrente alternata, considerando o meno il contributo di un sistema fotovoltaico con relativa batteria di back-up. Utilizzando come riferimento le performance dei LED e i pannelli fotovoltaici previste dal DOE per il 2012, i costi annuali livellati si riducono del 5% se si suppone di eliminare i driver dagli apparecchi e di alimentarli con una rete di alimentazione in continua rispetto ad una alimentazione in corrente alternata e tali costi scendono ulteriormente dal 2% al 21% se si confronta un sistema di alimentazione in DC con pannello fotovoltaico con un sistema in AC e pannello fotovoltaico.

La forbice dipende più dalla capacità dei produttori di rendere disponibili LED che seguono le previsioni in termini di efficienza e costi messe a punto dal DOE, piuttosto che dalla riduzione dei costi per l'elettronica di potenza per la creazione della rete in DC negli edifici e nei conseguenti costi di standardizzazione<sup>65</sup>.

Altri scenari futuribili nascono dall'osservazione che i LED possono essere facilmente abbinati a sensori, moduli di comunicazione wireless e a sistemi dotati di processori. Questa versatilità permette agli apparecchi di illuminazione a LED di diventare intelligenti, capaci di collezionare informazioni provenienti dai sensori collegati in rete e ciascun sistema di illuminazione e grazie alla sua intelligenza locale, potrebbe essere in grado di risparmiare energia e di ottimizzare le proprie funzionalità (Figura 59)<sup>66</sup>.

Power over Ethernet o PoE (suo acronimo) è una tecnica che permette di alimentare apparecchiature utilizzando lo stesso cavo che le collega alla rete dati Ethernet wired.

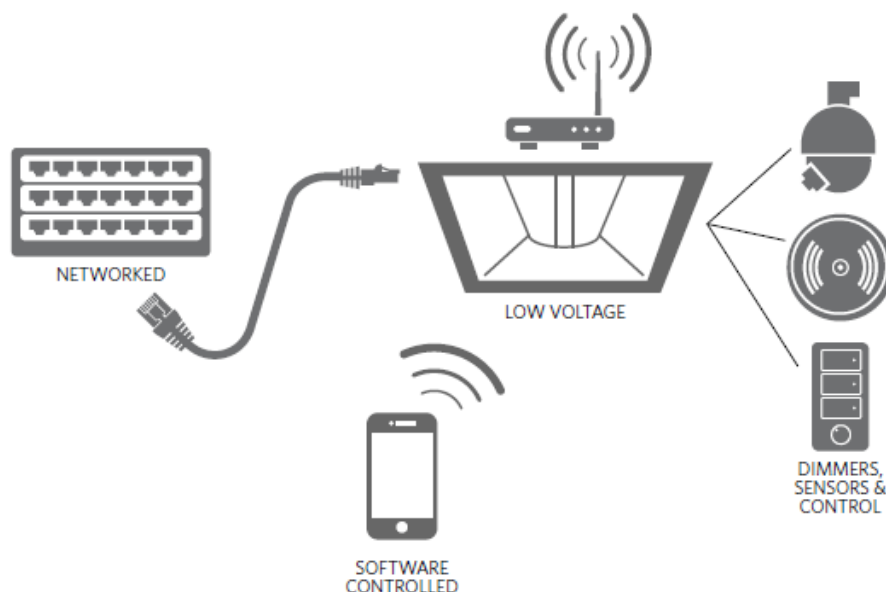


Figure 3: Connected LEDs integrated with sensors become smart networked hubs.

#### Figura 59 Integrazione tra apparecchi di illuminazione a LED, sensori e sistemi di controllo<sup>67</sup>

Power on Ethernet (PoE) è la soluzione ideale per l'alimentazione, il collegamento, e il controllo degli hub intelligenti a LED attraverso una rete LAN. La tecnologia PoE è disciplinata dallo standard IEEE 802.3 che specifica le caratteristiche di alimentazione e di scambio dei dati attraverso l'impiego di un singolo cavo di rete standard (Cat. 5) inserito direttamente alla porta di rete dei dispositivi collegati. L'utilizzo della PoE abbassa i costi di distribuzione e l'installazione di dispositivi IP-enabled, inclusi gli hub di illuminazione e i sistemi di sensori: i costi di cablaggio sono più bassi perché è necessario posare solo un cavo dati di rete; non è necessario alcun cavo di alimentazione separato. I costi di installazione sono più bassi perché non è



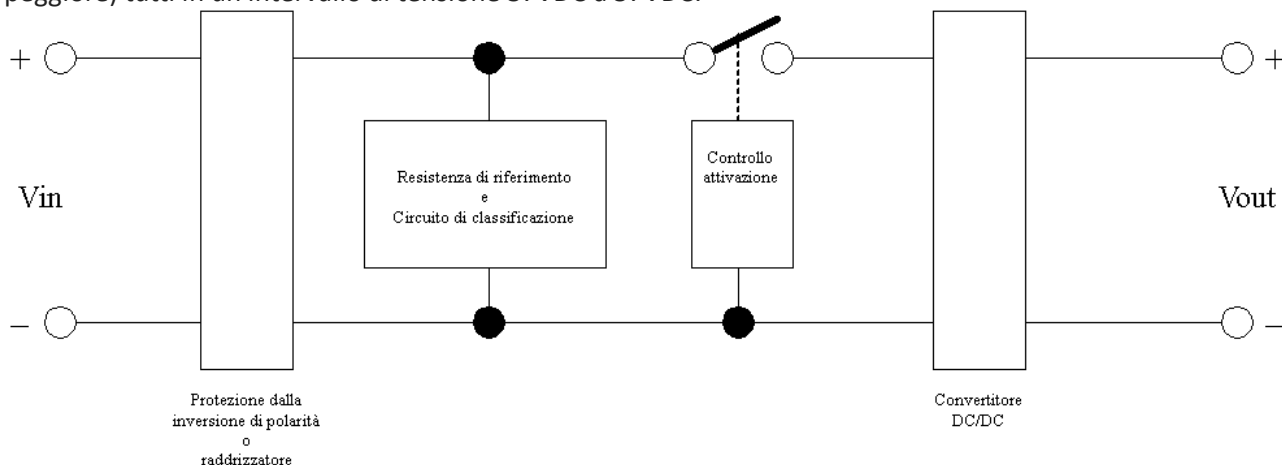
necessario utilizzare un installatore qualificato per far passare il cavo della rete dati (sono infatti ridotti i problemi di sicurezza elettrica, dato che si tratta di bassissima tensione di sicurezza).

Una rete PoE consente una migliore gestione complessiva di alimentazione della rete, in quanto fornisce sia controllo discreto sulla potenza elettrica assorbita dai dispositivi collegati e garantisce inoltre l'accesso ad una alimentazione di backup durante le interruzioni elettriche utilizzando solamente il cavo della rete dati.

Il PD è l'apparecchiatura collegata alla rete che fornisce un servizio finale: è detta anche terminale o utilizzatore; il PD necessita di una alimentazione per il funzionamento, che può essere fornita nei pressi dell'installazione tramite un alimentatore diretto, o in remoto, attraverso la stessa linea di trasmissione dati.

Il PSE o alimentatore è l'apparecchiatura che fornisce la corrente e la tensione adatte al funzionamento del PD. Spesso il PSE deve prendere decisioni, può quindi essere anche relativamente complicato e prevedere addirittura una logica a microprocessore.

La norma specifica anche che il PSE può fornire una potenza elettrica fino a 30W (su due coppie) o 60W (su quattro coppie) in un intervallo di tensione tra 50VDC a 57VDC usando cavi in categoria 5 o superiore. Per queste tre configurazioni di potenza, il PD è limitato ad un assorbimento di potenza massima di 13,0W, 25,5 W o 51W, rispettivamente (per tenere conto di perdite di potenza nel cavo per effetto Ohm nel caso peggiore) tutti in un intervallo di tensione 37VDC a 57VDC.



**Figura 60 Schema a blocchi PSE<sup>68</sup>**

Il PD negozia una classe di potenza con il PSE nel corso della sua connessione iniziale. Tutti gli utilizzatori PD comprendono un resistore 25kΩ tra le coppie di fili di alimentazione, per permettere al PSE per rilevare quando un PD si connette e si disconnette dalla rete.

La presenza delle funzionalità PoE non degrada le prestazioni di comunicazione dati. Infatti, protegge l'apparecchiatura di rete dal sovraccarico attraverso la negoziazione di consumo di energia tra l'unità PoE e dei dispositivi collegati.

L'alimentazione è fornita solo a dispositivi compatibili ed è bloccata per dispositivi legacy incompatibili: questo approccio consente agli utenti di utilizzare e sicuro dispositivi legacy e compatibili PoE sulla stessa rete. In una configurazione PoE, ogni apparecchio LED può essere un dispositivo plug-and-play standard con connettore RJ45 con un proprio IP indirizzo in modo da essere individualmente indirizzabile.

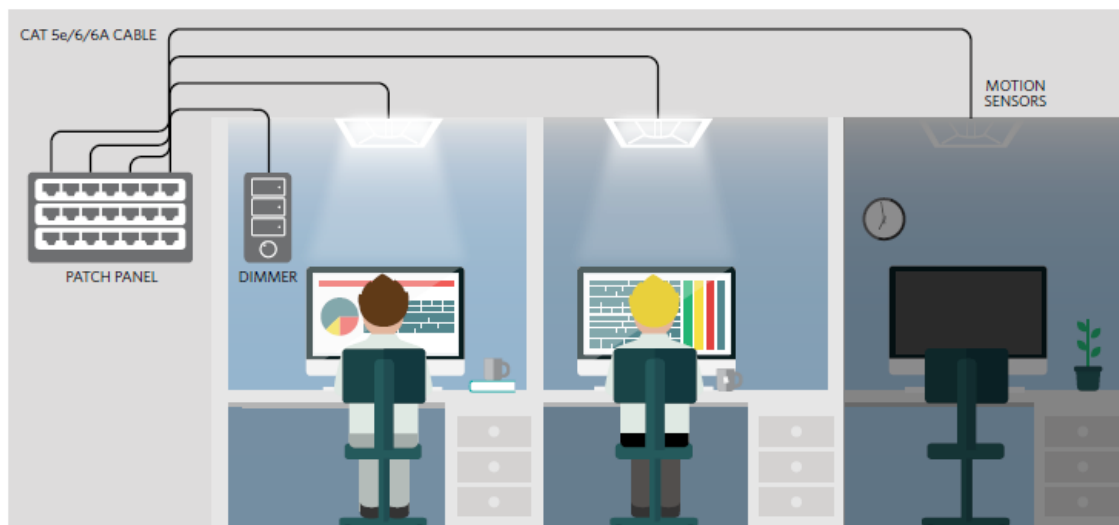


Figura 61 Rete di trasmissione dati e alimentazione elettrica che connette apparecchi, sensori, dimmer

## 7 Illuminazione e anziani

Nel presente paragrafo si cercherà di fare il punto della situazione sui requisiti illuminotecnici per l'illuminazione domestica per una popolazione anziana, tenendo conto anche delle ultime ricerche pubblicate nella letteratura scientifica.

A tale fine saranno considerati due soli aspetti, ritenuti utili alla successiva fase di progettazione del prodotto:

1. Livelli di illuminamento
2. Contenimento dell'abbagliamento

### 7.1 Livelli di illuminamento

#### Quanto più alto deve essere il livello di illuminamento per un anziano rispetto a un giovane ?

Si può rispondere a questa domanda considerando 3 ricerche proposte nella letteratura scientifica:

- 1) Il modello di prestazione visiva proposto da Rea e Ouellette (1991)<sup>69</sup>, suggerisce che una persona di 65 anni ha bisogno di un illuminamento doppio rispetto a quello di un giovane di 20 anni per ottenere la stessa performance visiva nella lettura di caratteri di normali dimensioni
- 2) Okajima and Iwata (1998) hanno dimostrato (modello di invecchiamento del cristallino umano) che per avere lo stesso livello di illuminamento retinico tra un soggetto di 70 e un soggetto di 22 anni, occorre aumentare il livello di illuminamento di un fattore 1.3 volte (per l'illuminante A)<sup>70</sup>.
- 3) Gli stessi autori nello stesso articolo citato, hanno sperimentato il livello di illuminamento medio per la lettura confortevole del giornale, sotto due differenti sorgenti (lampada incandescenza e fluorescente daylight), trovando una notevole differenza tra i livelli preferiti tra gli utenti giovani e quelli anziani, che mostravano di gradire livelli di illuminamento superiori di un fattore compreso tra 1.5 e 2.

Il sistema di illuminazione dovrà necessariamente tenere conto di questi risultati nel dimensionamento del flusso luminoso emesso dall'apparecchio.

### 7.2 Sensibilità abbagliamento

Per quanto riguarda l'abbagliamento debilitante, questo è causato principalmente dalla luce diffusa negli occhi <sup>p</sup> (Vos, 1999). La formula per predire l'entità di tale fenomeno in cui si tiene conto anche dell'età dell'osservatore è la seguente<sup>71</sup>:

$$L_v = 10 * \left( 1 + \left( \frac{A}{70} \right)^4 \right) * \sum \frac{E_n}{\vartheta_n^2}$$

Dove:

$L_v$ : luminanza velante equivalente (cd/m<sup>2</sup>)

A: età dell'osservatore (anni)

$E_n$ : illuminamento all'occhio dell'osservatore dalla sorgente n-esima (lux)

$\vartheta_n$ : angolo tra la linea di osservazione e la congiungente della sorgente n-esima

La misura in cui l'abbagliamento debilitante riduce le capacità visive dei soggetti dipende dal contrasto di luminanza di ciò che si vede, la sua deviazione angolare dalla fonte dell'abbagliamento, e la luminanza del resto del campo visivo. Le persone anziane a causa del degrado dei mezzi trasmissivi dell'occhio, hanno generalmente una maggiore diffusione della luce all'interno dell'occhio e, quindi, maggiore abbagliamento debilitante rispetto ai soggetti più giovani.

La formula precedente mostra che maggiore è la deviazione della sorgente abbagliamento dalla linea di vista, minore è l'entità della disabilità prodotta dall'abbagliamento.

Il contrasto di luminanza tra il target e lo sfondo all'interno del campo visivo è di grande importanza, dato che la luce diffusa all'interno dell'occhio dell'osservatore, si sovrappone all'immagine del compito visivo e dello sfondo: l'effetto della luminanza velante è tanto minore quanto più è alto il contrasto di luminanza e tanto minore è la luminanza dello sfondo.

L'approccio più semplice per ridurre al minimo il disagio e l'abbagliamento debilitante dovuto agli apparecchi di illuminazione è quello di utilizzare solo gli apparecchi in cui non è visibile la sorgente luminosa, sia direttamente sia come immagine riflessa specularmente, per le più comuni direzioni di osservazione. A questo si può aggiungere un attento posizionamento degli apparecchi in modo che siano il più possibile distanti dalle linee di vista più comuni. Di norma, laddove sono richiesti elevati valori di illuminamento con bassi valori di abbagliamento, per svolgere un determinato compito visivo, si ricorre all'utilizzo di task light in combinazione con una illuminazione generale dell'ambiente.

Da quanto detto in precedenza, appare chiaro che la distribuzione delle luminanze e il valore del contrasto sono essenziali per la valutazione del comfort di un ambiente destinato ad un'utenza di anziani.

Un recente studio<sup>72</sup> propone l'uso della fotografia digitale come strumento di valutazione visiva di incorporare le esigenze dell'occhio nell'invecchiamento per il processo di progettazione. La ricerca utilizza fotografie digitali per la raccolta di luminanza e i dati del contrasto di luminanza, e impiega alcune maschere del campo visivo per rappresentare e analizzare il campo visivo umano. Filtri di sfocatura applicati alle immagini digitali sono stati sviluppati per esaminare i problemi legati alla perdita di acuità visiva.

Impiegando questo strumento di progetto in una casa di riposo per anziani per la raccolta di una serie di dati empirici, questa ricerca ha voluto verificare, utilizzando uno strumento di analisi basato su immagini digitali, come rappresentare i livelli di acuità visiva dell'occhio invecchiato, ed esplorare la distribuzione di luminanza e i rapporti di contrasto di luminanza che causano problemi di mobilità e influenzano l'orientamento sicuro dei soggetti con bassa acuità visiva.

I risultati del caso studio hanno dimostrato la fattibilità dello strumento proposto, evidenziando un ridotto contrasto di luminanza sulla scala di uscita in condizioni di ridotta acuità visiva. I risultati includono la progettazione dell'illuminazione di sicurezza/orientamento rispetto alla prevenzione infortuni e cadute, e facilitare l'accessibilità e comfort degli ambienti.

Ricerche future potranno beneficiare della metodologia proposta per studiare sia gli aspetti qualitativi e quantitativi dell'ambiente luminoso in diversi contesti interni ed esterni. Il metodo e l'analisi delle proposte

<sup>p</sup> Vos JJ, Van den Berg TJTP. Report on disability glare. CIE Collection 135-1999 Vision and Colour, Physical Measurements of Light and Radiation. Vienna: CIE, 1999.

dei valori di contrasto di luminanza aiuteranno a rivisitare la fattibilità delle linee guida di illuminazione esistenti e a sviluppare metriche di illuminazione percettive che tengano conto delle esigenze e preferenze della popolazione anziana.

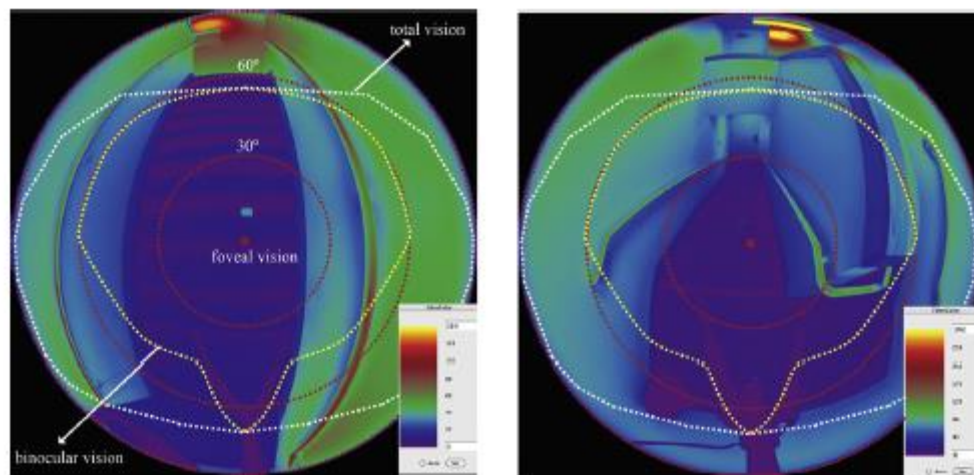


Figura 62 Immagine HDR del caso studio (case di uscita) con sovrapposti i campi visivi

## 8 Illuminazione domestica per il raggiungimento del benessere

Alcuni studi sono stati condotti negli ultimi anni sull'effetto della luce e il benessere dell'individuo con particolare attenzione al problema del sonno che è stato analizzato sotto diversi aspetti:

- Il primo è il tentativo di migliorare le performance cognitive, l'inerzia del sonno al risveglio mediante un sistema di illuminazione che generasse un'alba artificiale. Questa soluzione disponibile oggi in molti prodotti sul mercato è stata indagata in modo scientifico da alcuni studi che hanno cercato di verificare e misurare gli effetti che tale risveglio ha sugli utenti, indipendentemente dalla loro età (il target non è una popolazione anziana, ma una fascia molto più ampia di individui).
- Il secondo aspetto è l'influenza della luce (livelli di illuminamento e distribuzione spettrale) sulla regolazione del ritmo sonno-veglia in soggetti anziani. In quest'ambito sono molti gli studi in letteratura che descrivono esperienze di laboratorio, ma in numero minore gli studi svolti sul campo che abbiano prodotto dei risultati statisticamente significativi, per una serie di ragioni che appariranno chiare nel seguito. Le fonti di luce considerate dai ricercatori sono state quelle tradizionali degli apparecchi di illuminazione e anche altri tipi di stimolazione, come ad esempio gli schermi LED delle televisioni o dei tablet che sembrano avere una influenza non trascurabile sulla regolazione del ritmo sonno veglia.

Fino ad oggi, il progetto dei sistemi di illuminazione domestici è orientato verso le esigenze estetiche dei clienti e per garantire le prestazioni visive. La luce, come un potenziale strumento per avere un impatto sul benessere domestico, solo di recente ha raggiunto il mercato con nuovi prodotti a LED che offrono soluzioni di illuminazione ambientale che consentono di variare la temperatura di colore e l'intensità da parte del cliente. Tuttavia, questi nuovi dispositivi luminosi intelligenti sono considerati prodotti legati allo stile di vita, piuttosto che legati al benessere<sup>73</sup>.

Così, le funzioni non visibili della luce, non sono affatto considerate né implementate nelle attuali soluzioni di illuminazione per applicazioni domestiche. C'è un grande potenziale per sviluppare la fisiologia circadiana, le prestazioni cognitive e la qualità del sonno tramite sistemi di illuminazione domestici sapientemente progettati, che considerano oltre ai compiti visivi e alle qualità estetiche anche effetti non visivi della luce in soluzioni di illuminazione future<sup>74</sup>.

Quali condizioni al contorno devono essere considerate?

Età, sesso, storia dell'esposizione alla luce e modelli di sonno-attività di un certo individuo sembrano giocare un ruolo importante negli effetti non visibili della luce. È il livello relativo dello stimolo luminoso, piuttosto che il livello assoluto, rispetto alla precedente esposizione luminosa<sup>75</sup> e/o la luce ambiente concomitante che influenza fortemente la portata degli effetti non visivi. Una persona proveniente da una luce diffusa, di solito, ha delle risposte più forti in una successiva esposizione alla luce rispetto a una persona proveniente da una luce più intensa. Gli effetti non visibili della luce dipendono in modo significativo anche dai tempi di esposizione alla luce. Inoltre, le donne, la sera, di solito preferiscono colori più chiari e tonalità più calde rispetto agli uomini, e gli anziani hanno bisogno, in generale, di livelli di luce più alti per la visione o per produrre effetti biologici, a causa di cambiamenti legati all'età in termini di dimensioni della pupilla e la qualità della lente<sup>q</sup>. In generale, la maggior parte delle prove sugli effetti biologici della luce provengono da esperimenti di laboratorio controllati e hanno urgente bisogno di essere tradotti in scenari di vita reale. Oltre alle differenze individuali nella risposta alla luce, la distribuzione degli stimoli luminosi nelle 24 h è un aspetto molto rilevante nelle applicazioni domestiche al fine di definire con precisione le caratteristiche spettrali, i livelli e la dinamicità della luce per ottenere gli effetti non visibili riscontrati negli esperimenti di laboratorio<sup>76</sup>.

### 8.1 Studi sull'alba artificiale e sulla luce per il risveglio

La riduzione cronica del sonno (SR) ha effetti deleteri sulla performance cognitiva che può essere neutralizzata dall'esposizione alla luce<sup>77</sup>. Tuttavia, non è ancora chiaro se le impostazioni di luce naturalistiche (la luce che simula l'alba) possono migliorare le prestazioni cognitive di giorno in modo significativo. Diciassette partecipanti sono stati arruolati in una 24 ore di studio cross-over equilibrato, successivamente alla riduzione del sonno (6-h di sonno). Due diverse stimolazioni luminose sono state somministrate ogni mattina: a) una luce che simula l'alba (DSL; 250 lux - uno stimolo luminoso policromatico che aumenta gradualmente l'intensità da 0 a 250 lx durante 30 minuti prima dell'orario di sveglia, con la stimolazione che si mantiene a circa 250 lx per 20 minuti successivi all'orario di sveglia) e b) una luce di controllo fioca (DL; <8 lx). Una serie di test cognitivi sono stati eseguiti ogni 2 h durante la veglia e i questionari sono stati completati ogni ora per valutare l'umore soggettivo.

I risultati hanno mostrato un effetto significativo della "condizione di luce" per l'attività di inseguimento motorio, mantenimento dell'attenzione nello svolgere un compito, e dei compiti che coinvolgono la memoria di lavoro<sup>r</sup>, nonché per il semplice tempo di reazione, tale che i partecipanti hanno mostrato una migliore performance per tutta la giornata dopo l'esposizione mattutina a DSL rispetto a DL.

Inoltre gli effetti della stimolazione sono stati registrati in misura maggiore per i soggetti con basse prestazioni rispetto a quelli con performance migliori. Al contrario, nessuna influenza significativa dalla stimolazione DSL è stata trovata per i compiti di vigilanza psicomotoria, ed è stato osservato un effetto contrario per il test di sostituzione delle cifre con i simboli. Nessun effetto di luce è stato osservato per la percezione soggettiva di sonnolenza, sforzo mentale, la concentrazione e la motivazione.

Sulla base di queste risultanze, i ricercatori ritengono che la breve esposizione alla luce di un'alba artificiale possa migliorare in modo significativo le prestazioni cognitive in modo più specifico in condizione di debole riduzione del sonno.

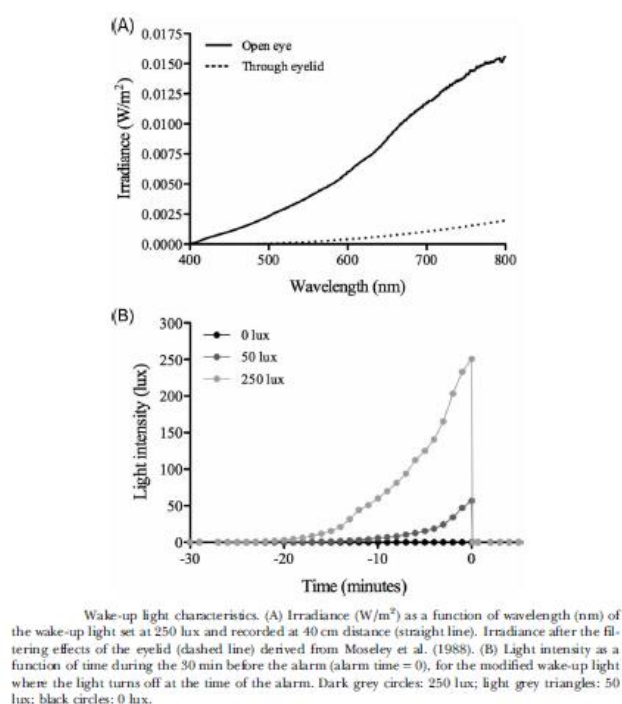
<sup>q</sup> Christian Cajochen, lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities, Accelerate SSL Innovation for Europe, Deliverable 3.2 and 3.4

<sup>r</sup> Memoria di lavoro è assimilabile a un sistema per l'immagazzinamento temporaneo e la prima gestione/manipolazione dell'informazione, costituente un link funzionale tra percezione sensoriale ed azione controllata

Un altro studio condotto nel 2010 e pubblicato nel Journal of Sleep Research ha analizzato il problema di come ridurre l'inerzia del sonno nei soggetti, attraverso un meccanismo di alba artificiale<sup>78</sup>. L'inerzia del sonno è stata valutata nei volontari attraverso la misura dell'elettro-encefalogramma e misurando la temperatura corporea e della pelle. Lo studio ha utilizzato un dispositivo di "alba artificiale" su alcuni soggetti, mentre per il gruppo di controllo non è stata utilizzata alcuna sorgente di luce. Lo studio ha concluso che i soggetti che soffrono di inerzia del sonno possono ridurre i loro sintomi esponendosi a uno stimolo luminoso che simuli un'alba artificiale.

Nel presente studio svolto in ambito domestico, gli autori hanno testato l'uso di una sveglia con l'alba artificiale per verificare se questa contribuisse a ridurre il disagio dell'inerzia del sonno per soggetti che hanno difficoltà a svegliarsi presto<sup>79</sup>. Gli autori hanno anche esaminato se questi miglioramenti sono stati accompagnati da una variazione del ciclo della melatonina. Due differenti studi sono stati condotti: nello studio 1 sono state esaminate tre scenari luminosi (0, 50 e 250 lux) mentre dello studio 2, sono state considerate solo due condizioni (0 lux e l'intensità della luce all'alba è selezionata dall'utente).

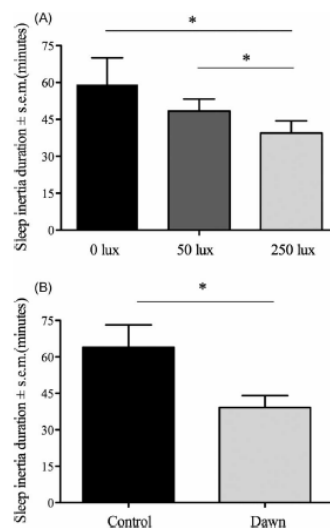
La Figura 63 mostra lo spettro della lampada per il risveglio utilizzata nella sperimentazione: si tratta di un prodotto disponibile sul mercato (Philips Wake-up light) modificato mediante l'inserimento di una lampada incandescente da 100 W E27 Philips Softone Softwhite 230 V T55. La stessa figura mostra anche l'andamento dell'intensità dell'illuminamento prodotto al variare del tempo a partire dall'istante della sveglia.



**Figura 63 (A) Spettro della lampada utilizzata per lo stimolo luminoso (B) andamento temporale del livello di illuminazione per i tre stimoli considerati nella sperimentazione**

Per ogni condizione, lo studio è durato 2 settimane; in entrambi i casi, l'uso del alba artificiale ha determinato una significativa riduzione delle lamentele per inerzia del sonno. Tuttavia, nessun cambiamento significativo è stato osservato nell'insorgenza della melatonina dopo 2 settimane di utilizzo dell'alba artificiale a 250 lux oppure 50 lux rispetto alla condizione di controllo.

Un'analisi multilivello ha rivelato che solo la presenza del mattino artificiale, piuttosto che altri fattori, è correlata alla riduzione osservata nelle lamentele per inerzia del sonno. Pertanto è necessario ipotizzare meccanismi diversi rispetto all'alterazione dei ritmi circadiani per spiegare i risultati positivi sull'inerzia del sonno dovuti al risveglio mediante uno stimolo luminoso costituito da alba artificiale.



**FIGURE 2** Sleep-inertia duration. Mean  $\pm$  SEM values of subjective sleep-inertia duration measured as the amount of minutes needed to feel fully awake after waking up. A significant effect of the artificial dawn was found in both studies. Study I (A): significant 19.7-min and 8.9-min decreases were found between the 250 lux and the 0 lux (control) conditions, and between the 250-lux and 50-lux conditions, respectively. Study II (B): a significant 24.8-min decrease was found between the artificial dawn (self-selected inertias) and 0-lux (control) conditions.

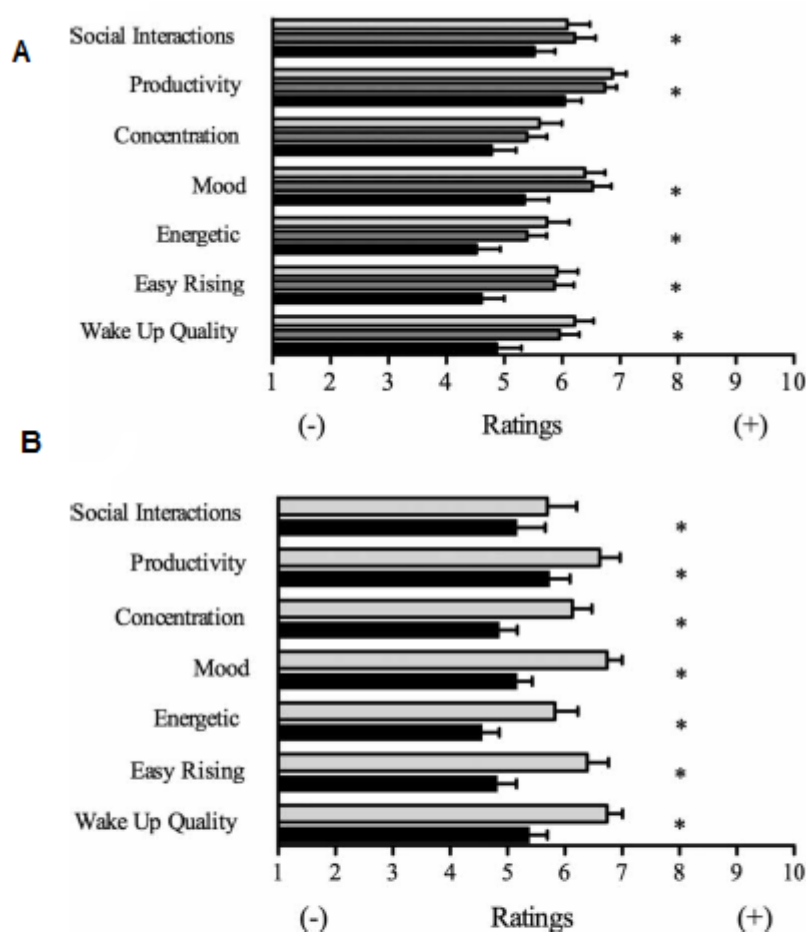
**Figura 64 Durata dell'inerzia del sonno. Valore Media  $\pm$ SEM (errore standard della media) della sleep inertia soggettiva, intesa come il numero di minuti necessario per sentirsi completamente svegli dopo il risveglio. Un effetto significativo dell'alba artificiale è stato trovato per entrambi gli studi**

La Figura 64 mostra la durata dell'inerzia del sonno (in minuti), per l'esperimento 1 e per l'esperimento 2: si osserva un significativo effetto dello stimolo costituito dall'alba per entrambi gli studi.

Nello studio 1 (cfr. Figura 64 caso A) una riduzione di 19.7 e di 8.9 minuti è stata rilevata a 250 e 50 lux rispetto alla condizione di controllo (nessun illuminamento al risveglio). Nel secondo studio (cfr. Figura 64 caso B) una riduzione significativa pari a 24.8 minuti è stata registrata tra situazione con lo stimolo luminoso e la condizione di controllo.

Dalle variabili selezionate per valutare in modo soggettivo il benessere generale, (qualità del risveglio, facilità nell'alzarsi dal letto, sentirsi pieno di energia, l'umore, le interazioni sociali, e la produttività) sono state significativamente migliorate mediante l'uso dello stimolo dell'alba artificiale rispetto alla condizione di controllo. Non sono state osservate differenze significative tra le due intensità di luce (Figura 65).





General well being. Mean  $\pm$  SEM values for subjective ratings on different parameters to assess general well-being after waking up. A significant improvement in waking up quality, easy rising, energy, and mood was found in Study I by the use of the artificial dawn at any light condition. Black, dark grey, and light grey columns represent the control, 50-lux, and 250-lux conditions, respectively. (A). A further improvement in social interactions, concentration, and productivity was found in Study II when the artificial dawn (self-selected intensities, light grey columns) condition is compare to the 0 lux (control, black columns) condition (B).

**Figura 65 Variazione delle variabili soggettive considerate per la valutazione del benessere generale (Studio 1 (A) e Studio 2 (B))**

Lo scopo dello studio è quello di investigare l'effetto dell'illuminazione domestica sul sonno e ritmo circadiano; lo studio a differenza di molti altri descritti in letteratura, dove i partecipanti sono anziani in case di riposo o ospedali, analizza le condizioni di illuminazione in abitazioni private di cittadini anziani che godono di buona salute<sup>80</sup>.

Lo studio investiga l'effetto sul sonno e il benessere di anziani over 65 anni in buona salute prodotto da una luce bianca arricchita nella banda del blu rispetto a luce bianca privata di parte del blu in interni domestici.

Ventinove partecipanti in 20 case private in un insediamento omogeneo a Copenaghen sono stati esposti a due periodi luce di 3 settimane ciascuno con luce bianca arricchita di blu (280 lux) e 3 settimane con luce bianca blu-soppressa (240 lux) o viceversa.

Le abitazioni sono state tutte visitate all'inizio dello studio per evidenziare i potenziali problemi: nonostante l'architettura uniforme delle case, le visite hanno rivelato differenze piuttosto grandi nei livelli di luce

naturale negli interni poiché l'arredamento e colori delle pareti, pavimenti e rivestimenti, così come le piante dentro e fuori casa influenzano il contributo di luce diurna. Il contributo di luce diurna può aver influenzato la percezione individuale dei partecipanti e l'accettazione della luce sperimentale testata.

Tuttavia, gli autori hanno valutato che i livelli di illuminazione naturale interno delle abitazioni hanno poca importanza per l'esperimento: infatti una mancanza di correlazione tra il contributo di luce diurna e l'esposizione alla luce dei soggetti misurata sugli actigrafi supporta questa supposizione.

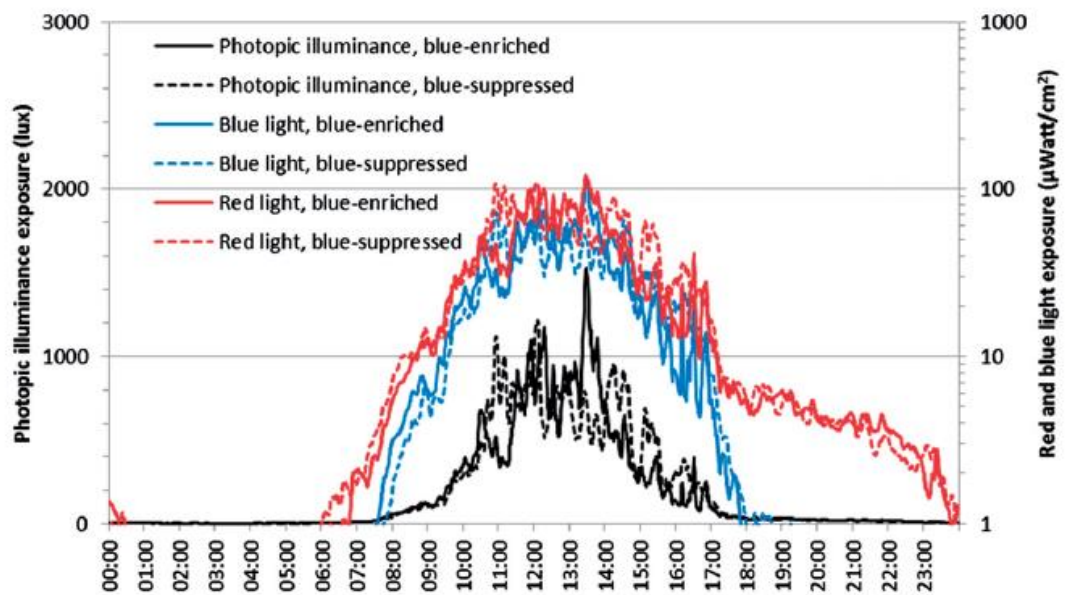


FIGURE 3. Average diurnal light exposure measured with Actiwatch. In the evening, the amount of blue light exposure decreased to almost zero unlike red light exposure (right axis). Significantly more red light exposure was found in the blue-suppressed treatment compared to the blue-enriched treatment ( $p=0.024$ ), while no significant difference was found for the measured blue light ( $p=0.26$ , right axis) nor photopic illuminance ( $p=0.56$ , left axis) for the two experimental light conditions.

Figura 66 Valore medio dell'esposizione alla luce misurato dall'actigrafo

Gli apparecchi di illuminazione esistenti sono stati sostituiti con degli apparecchi sperimentali e sono di norma costituiti da sospensioni poste sopra il tavolo da pranzo che distribuiscono la luce in modo da garantire circa 100 lux alla cornea.

La distribuzione spettrale delle sorgenti utilizzate è riportata alla Figura 67, per la sorgente arricchita di componente blu, la temperatura di colore è di 5100K, mentre quella della sorgente impoverita di blu, la temperatura di colore è di 2800K. Per entrambe la resa cromatica risulta superiore a 80.

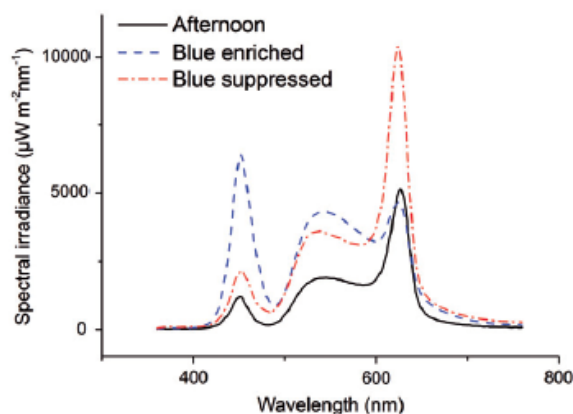


FIGURE 1. Spectral irradiance for blue-enriched, blue-suppressed and afternoon light. The blue-enriched and blue-suppressed light conditions were applied with total irradiance approximately 700–900 mW/m<sup>2</sup> during morning until 1 pm in the participant's living room. Based on a cross-over design, half of the participants were exposed to blue-enriched light and the other half to blue-deprived light during the first 3-weeks experimental period, and switched to the opposite in the second 3-weeks experimental period. From 1pm, the afternoon light conditions (total irradiance approximately 400 mW/m<sup>2</sup>) were applied in all cases.

**Figura 67 distribuzioni spettrali delle sorgenti luminose utilizzate nell'esperimento**

L'apparecchio sperimentale è costituito da un globo opalino in vetro contenente 3 PHILIPS Hue, installato nella parte centrale della casa (in corrispondenza del tavolo da pranzo o del soggiorno o comunque nelle vicinanze della cucina). La posizione è stata scelta in modo da massimizzare le ore trascorse dai partecipanti vicino alle sorgenti di luce specialmente durante i pasti e altre attività domestiche, specialmente nelle ore del mattino.

Per aumentare l'esposizione alla luce ed evitare possibili problemi di contrasto, un apparecchio uplight (Philips SkyRibbon IntelliHue Wallwashing Powercore) è stato installato nell'ambiente in modo da creare un'illuminazione indiretta nella zona prescelta della casa. Entrambi gli apparecchi sono stati programmati per eseguire la stessa sequenza:

- Dalle 8.00 fino alle 13.00 la luce Bianca con esaltazione/soppressione del blu, in modo da ottenere un illuminamento all'altezza della cornea, misurato a 1.5 m dal globo diffondente compreso tra 280 e 240 lux rispettivamente.
- Dopo le 13.00 il livello di illuminazione scende a 140 lux con emissione a soppressione di blu.
- Dalle 18.00 fino all'ora di coricarsi il livello scende approssimativamente a 100 lux con soppressione della componente blu (a questo livello rimane anche se l'utente desidera delle accensioni notturne).

I ricercatori non hanno trovato alcuna differenza per le due condizioni di illuminazione non trovando alcuna significativa differenza nella durata del sonno e della veglia (valutata attraverso un diario) o la qualità del sonno, valutata mediante il Pittsburgh Quality Index. Non sono stati osservati differenti effetti tra le due condizioni di illuminazione sui parametri relativi al ritmo circadiano (morning-evening type, melatonin, concentration or chromatic pupillometry).

Si è osservato un miglioramento della qualità del sonno per i soggetti anziani di sesso femminile (nel passaggio ad una illuminazione con ridotta quantità di luce blu), anche se i dati raccolti non hanno raggiunto una significanza statistica.

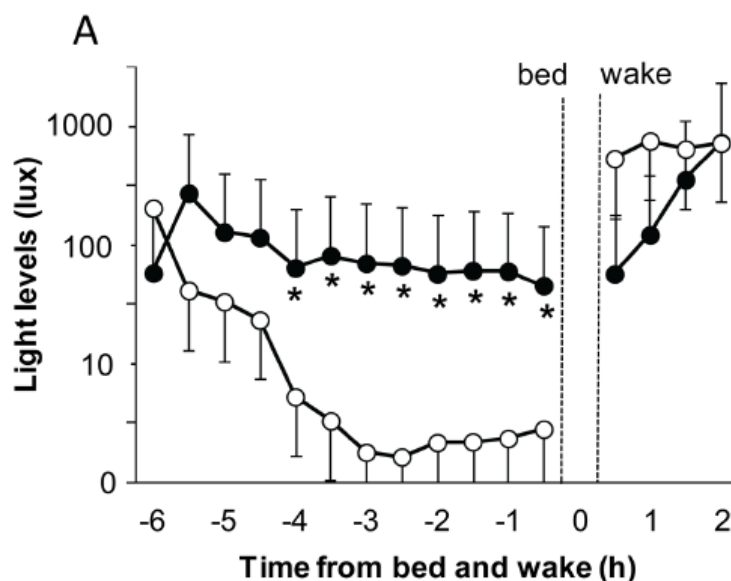
Le spiegazioni possibili, considerando gli effetti osservati in laboratorio in condizioni controllate, possono essere molteplici:

- Le intensità delle luci sperimentali hanno intensità troppo basse per stimolare i soggetti e quindi le differenze rilevate sono troppo basse.
- Osservando i dati registrati dall'actigrafo (Figura 66), si osserva un incremento deciso nella componente di luce blu tra le 8 e le 9 del mattino tra le due condizioni di illuminazione, tuttavia l'incremento non è significativamente elevato durante il resto del giorno. Questo fenomeno può essere dovuto allo stile di vita attiva dei partecipanti, a una vita sociale con molte attività giornaliere e molto tempo trascorso all'aperto. Anche la quantità di luce naturale può avere influenzato lo studio, considerando il fatto che le condizioni meteorologiche erano particolarmente buone durante il periodo dello studio (clear sky). Per limitare l'influenza delle condizioni meteorologiche sui dati dello studio, i ricercatori hanno condotto gli esperimenti in autunno quando la maggior parte delle persone spende la maggior parte del tempo a casa (nello studio non era stata imposta alcuna limitazione alle attività giornaliere dei partecipanti).

Altri studi di laboratorio suggeriscono che la luce della sera prima di coricarsi può sopprimere la melatonina<sup>81</sup>. In questo studio è stato riprodotto l'intervallo di intensità luminose che le persone, alla sera, sono in grado di generare con le loro luci per la casa, e per la prima volta è stato determinato se l'esposizione alla luce di casa, prima della abituale ora per coricarsi, può spostare o meno la fase circadiana. Lo studio è durato 3 settimane con due condizioni controbilanciate separate da una pausa di 5 giorni. In una settimana con luce fioca, 8 soggetti sani hanno ridotto al minimo la loro esposizione alla luce a casa da

4 ore prima di coricarsi abituale fino al momento di coricarsi (liberamente scelto). In una settimana con luce brillante, i soggetti hanno massimizzato la loro illuminazione domestica per lo stesso tempo. L'insorgenza della melatonina in condizioni di luce dimmerata (DLMO), assunto come indicatore dell'effetto delle due differenti condizioni luminose, è stata valutata dopo ogni settimana. In media i soggetti hanno massimizzato le loro luci a ~ 65 lux e ridotto al minimo le loro luci a ~ 3 lux<sup>5</sup>.

I soggetti sono stati dotati di occhiali capaci di bloccare la luce blu (trasmissione della luce visibile 45%, luce <540 nm trasmissione 2%) è stato chiesto di indossarli nel momento in cui sono stati incaricati di ridurre la loro esposizione alla luce. I volontari sono stati autorizzati a rimuovere gli occhiali in qualsiasi momento, a condizione che annotassero l'istante e la ragione della rimozione in un registro di eventi. Gli occhiali non sono stati utilizzati per realizzare la stimolazione alla massima luminosità.



**Figura 68 I livelli medi di luce nelle ore prima di coricarsi e dopo il tempo risveglio (liberamente scelti). Gli asterischi indicano quando l'intensità della luce nella condizione luminosa (cerchi chiusi) era significativamente differente all'intensità della luce nella condizione di luce fioca (cerchi aperti; paired t-test, tutte  $p \leq 0.024$ ). I dati sono raggruppati in intervalli di 30 minuti e barre di errore rappresentano l'errore standard. La luce del mattino più brillante nella condizione debole non era significativa, ed è dovuto a un soggetto che esce di casa poco dopo il risveglio per due mattine.**

L'actigrafo da polso ha indicato che i soggetti sono andati a letto un po' più tardi, quando le luci sono state massimizzate (media 14 minuti più tardi,  $p = 0.05$ ), ma l'ora della sveglia non è cambiata. Ogni soggetto ha avuto il DLMO più tardi, dopo la settimana di massima esposizione alla luce, se confrontata con l'esposizione ai livelli minimi (media 01:03 ore più tardi,  $p < 0.001$ ). Questi risultati dimostrano che l'intensità della luce che le persone sono in grado di generare nella propria abitazione poche ore prima dell'abituale orario di coricarsi, può alterare il loro ritmo circadiano. Le persone dovrebbero quindi ridurre nelle ore serali, la loro esposizione alla luce in modo da minimizzare il disallineamento circadiano.

La conclusione che possiamo trarre dall'esame degli studi precedenti è che le applicazioni della luce non collegate alla visione, per gli ambienti domestici, non sono ancora entrate nel campo di applicazione della progettazione di interni. Sulla base dei risultati di studi in laboratorio, la luce nelle applicazioni domestiche è potenzialmente in grado di modulare il sonno, il benessere e la salute in generale. Questi tipici effetti della luce ambiente nelle abitazioni dipendono dalla intensità, dalla precedente esposizione alla luce dei soggetti, dalla durata e dalla composizione spettrale della luce.

C'è stato un aumento dell'esposizione nelle abitazioni alla luce dai grandi schermi TV, computer e tablet, che sono frequentemente utilizzati nelle case nei periodi in cui il sistema di controllo del ritmo circadiano è particolarmente sensibile (ad esempio di sera) agli effetti non visibili della luce. Così, oltre agli apparecchi di

<sup>5</sup> Dati rilevati dall'actigrafo

illuminazione tradizionali installati nelle nostre case anche questo tipo di sorgenti luminose "mobili" devono essere prese in considerazione per l'ottimizzazione delle performance dell'illuminazione degli ambienti.

In particolare alcuni ricercatori hanno investigato l'effetto di una retro-illuminazione a LED per lo schermo di un computer (presenta una emissione nelle corte lunghezze d'onda attorno a 460 nm) messa a confronto con uno schermo che impiega una differente tecnologia di retro-illuminazione attraverso un'ampia serie di misure sulla fisiologia e sul comportamento dei individui sottoposti a test, come ad esempio il livello di melatonina, le performance cognitive, EEG durante il dormiveglia. La conclusione a cui sono giunti è che l'esposizione per 5h serali a uno schermo LED, in confronto con uno schermo a differente tecnologia, dovrebbe sopprimere l'incremento serale dei livelli di melatonina e stimolare lo stato di allerta con un aumento concomitante delle prestazioni cognitive dei soggetti<sup>82</sup>.

La Figura 69 mostra il setup utilizzato per l'esperimento e le distribuzioni spettrali dei due monitor di identiche dimensioni di 24 pollici (diagonali) con la stessa risoluzione 1920x1200 e regolati in modo da produrre immagini della stessa luminanza (250 nist). Si osserva che per quanto riguarda la temperatura di colore del punto di bianco, i due dispositivi sono notevolmente differenti: il monitor LED presenta una temperatura correlata di colore di 6953 K mentre con lo schermo CCFL la temperatura correlata di colore è pari a 4775 K. I risultati dei test (compiti assegnati) e delle misure dei parametri fisiologici suggeriscono che l'esposizione dei soggetti alla luce LED dello schermo comporta una riduzione del livello di melatonina e della sonnolenza, l'induzione di un maggiore stato di allerta e un aumento delle prestazioni cognitive dei soggetti.

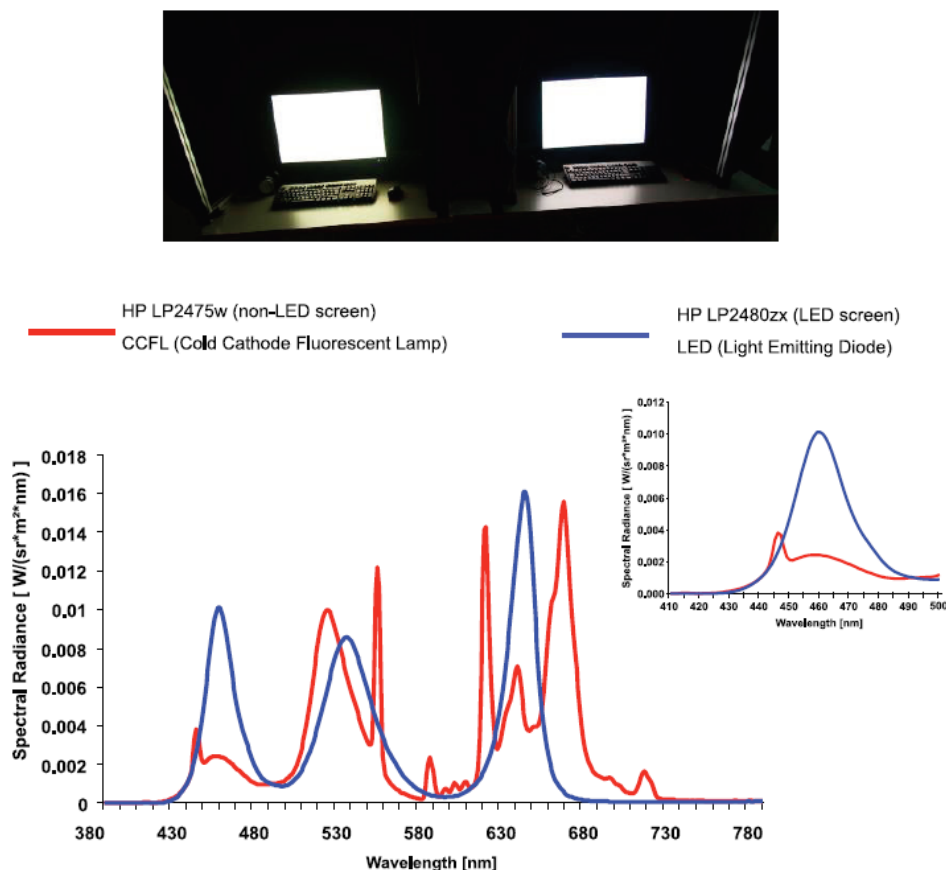


Fig. 1. Top, left: photograph of the non-light-emitting diodes (non-LED) computer screen [HP LP2475w cold cathode fluorescent lamp (CCFL)]; right: photograph of the LED computer screen (HP LP2480zx LED). Lower: spectral composition (light wavelength by irradiance =  $\text{Watt}/(\text{steradian} \times \text{m}^2 \times \text{nm})$  [ $\text{W}/(\text{sr} \times \text{m}^2 \times \text{nm})$ ]) of light emitted from the LED computer screen (blue line) and the non-LED screen (red line). Inset: blow-up of the spectral composition in the wavelength range of 410–500 nm. The photon flux for the LED-backlit screen was  $2.1 \times 10^{13}$  photons/( $\text{cm}^2 \times \text{s}$ ) in the wavelength range of 454 and 474 nm and  $0.7 \times 10^{13}$  photons/( $\text{cm}^2 \times \text{s}$ ) in the wavelength range of 454 and 474 nm for the non-LED-backlit screen.

**Figura 69 In alto immagine dei due schermi usati per l'esperimento. In basso lo spettro di emissione dello schermo LED (colore blue) vs CCFL (colore rosso). In basso a destra il dettaglio delle due emissioni per le corte lunghezze d'onda.**



Quattro ore e mezza prima dell'ora di andare a letto (mediamente alle ore 19.00) i soggetti hanno compiuto l'adattamento al buio, con una luce rossa molto debole (4 lux all'occhio), verso le ore 20.00 i volontari sono invitati a sedersi nel cubicolo per 5h di esposizione alla luce dei due monitor. Durante questo periodo, agli utenti è chiesto di compiere alcuni compiti e dei test. Ogni 50 min ai volontari è concessa una pausa di 10 min nella stessa stanza illuminata con una luce rossa molto debole (4 lux). Inoltre, dopo le prime 2 ore trascorse seduti in cabina, per 20 min è stato visualizzato sullo schermo del computer un film un rilassante, che conteneva scene con ambienti innevati (luce bianca). I volontari sono stati istruiti a guardare il film ad una distanza di 1 m dallo schermo per garantire l'esposizione costante alla luce dello schermo del computer senza altre attività in corso (che accentua gli effetti della luce sulla vigilanza e l'attenzione). Un'ora dopo l'abituale ora di coricarsi (in media, alle 00:30 h), il protocollo di laboratorio di 5h si è conclusa, e i volontari sono stati autorizzati a tornare a casa.

Il dettaglio del protocollo dell'esperimento è stato riportato per evidenziare quanto sia difficile ottenere risultati significativi nella regolazione del ritmo circadiano e nel ridurre i disturbi del riposo, al di fuori delle condizioni controllate di laboratorio e come i risultati di esperimenti condotti in condizioni di vita reali possano dare luogo a risultati non statisticamente significativi o non evidenziare un effetto suggerito da esperimenti controllati sugli individui.

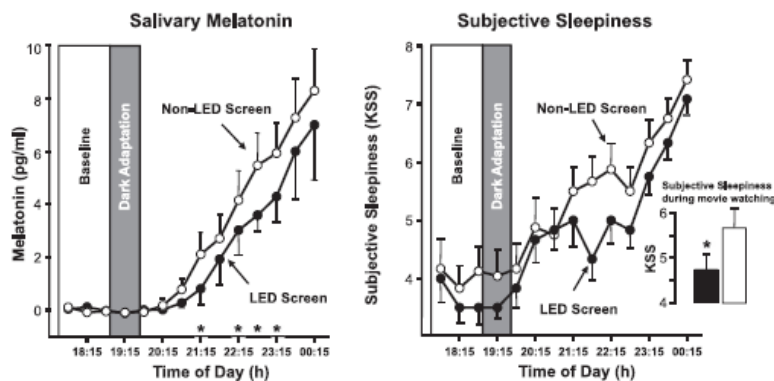


Fig. 2. Time course of salivary melatonin (left) and subjective sleepiness levels (right) during baseline, dark adaptation, and the screen exposure episode (30 min; mean values  $\pm$  SE;  $n = 13$ ). Inset, right: Karolinska Sleepiness Scale (KSS) levels during the presentation of the movie from 21:45–22:15 h. Results of the LED computer screen condition (●); data of the non-LED computer screen condition (○). \*Significant post hoc comparisons when the interaction screen  $\times$  time of day yielded significance.

**Figura 70 Andamento del livelli di melatonina e del livello soggettivo di sonnolenza quando i soggetti sono stimolati dal monitor a LED e dal monitor CCFL**

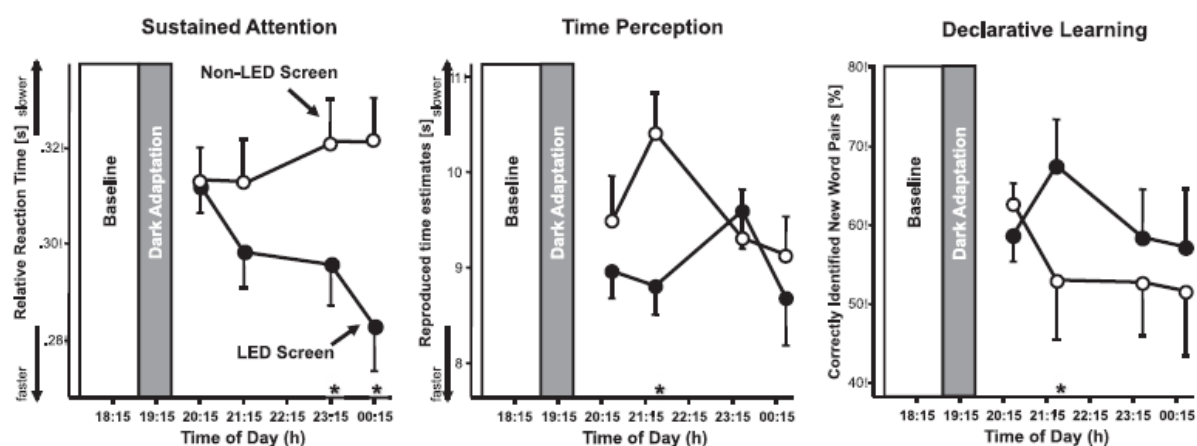


Fig. 4. Time course of cognitive performance during the screen exposure episode: sustained attention, as assessed by the GO/NOGO paradigm; working memory/attention, as assessed by a time perception task; and declarative memory, as assessed by a word-pair learning task (mean values  $\pm$  SE;  $n = 13$ ). Results of the LED computer screen condition (●); data of the non-LED computer screen condition (○). \*Significant post hoc comparisons when the interaction screen  $\times$  time of day yielded significance.

**Figura 71 Andamento delle performance cognitive in funzione del tempo per i soggetti stimolati attraverso due monitor con diversa tecnologia di retro-illuminazione**



## 8.2 Conclusioni provvisorie sulla luce nel domestico e benessere

Al fine di considerare nel progetto, dell'illuminazione domestica, anche gli effetti non visibili dei sistemi di illuminazione tradizionale e le nuove sorgenti luminose portatili, possiamo affermare:

- L'emissione luminosa ricca di componente blu (temperatura di colore 5500 K o 6500 K) emessa da televisori, schermi di computer e tablet costituisce uno stimolo, soprattutto alla sera e nella prima parte della notte, che produce una risposta di allerta negli individui e può produrre uno sfasamento in ritardo del ritmo circadiano<sup>83</sup>.
- I livelli di luce superiore a 100 lux prodotti da una luce ricca di blu e somministrati in tarda serata possono ritardare il momento di addormentamento e diminuire la qualità iniziale del sonno e del sonno profondo.
- L'alba di luce simulata in camera da letto alla mattina presto ha effetti benefici sull'inerzia del sonno, il benessere e le prestazioni cognitive durante il giorno.
- L'esposizione alla luce moderata (vale a dire 250 lux) al mattino può influenzare la fisiologia circadiana come indicato dai tempi dei livelli di secrezione di melatonina e del ritmo sonno-veglia. In questo modo, si possono aumentare la vigilanza, l'attività e le prestazioni cognitive durante il giorno.
- I residenti più anziani che si espongono a livelli di luce più elevati in serata hanno un rischio maggiore per l'insonnia.

## 9 Introduzione agli scenari futuribili di illuminazione domestica sostenibile

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di rivedere le tendenze nell'illuminazione domestica con riferimento alla sostenibilità, all'efficienza energetica e al benessere di una società che invecchia (generazione x, baby boomers e seniors). Lo scopo è quello di descrivere gli sviluppi e le tendenze che interessano queste tematiche e produrre quattro scenari per l'anno 2025, vale a dire da qui a dieci anni. Questo paragrafo descrive la metodologia utilizzata, gli scenari stessi e le implicazioni che ne derivano.

Lo scopo degli scenari presentati non è quello di prevedere il futuro, ma di comunicare agli utenti le possibilità e dare dei punti di vista attuali sul tema. Gli scenari sono stati ovviamente progettati per essere rilevanti rispetto alle parti interessate, ma senza essere prescrittivi sulle decisioni che questi soggetti possano operare.

Le tecniche di scenario sono un mezzo per coinvolgere diversi stakeholders interessati al progetto nel corso del suo intero ciclo di sviluppo (Rossen e Carroll, 2003)<sup>84</sup>. Uno scenario è definito come "una descrizione concreta di un'attività che un utente esegue durante un compito specifico accompagnata dalla descrizione sufficientemente dettagliata in modo da discutere e definire le implicazioni progettuali" (Carroll, 1995)<sup>85</sup>. Gli scenari si dividono in scenari "as is" in cui i dettagli narrativi specificano come si svolgono le attività nella situazione attuale. Sono anche definiti come "scenari problematici" (Carroll et al, 2006; Rosson e Carroll, 2003). Inoltre esistono gli scenari "to be" ovvero narrativa visionaria che ha come scopo lo sviluppo progettuale (Rosson e Carroll, 2003). Gli scenari sono storie costituite da un'impostazione, agenti o attori che hanno obiettivi, una trama o una sequenza di azioni e eventi. I progettisti usano la tecnica dello scenario per organizzare, motivare e comunicare idee. Gli scenari possono incoraggiare la riflessione in fase di progettazione, sono concreti e flessibili, facilmente modificabili, ampliabili o concretizzabili. Possono essere visualizzati da diverse prospettive e punti di vista.

Nella progettazione basata sugli scenari, le descrizioni di come le persone realizzano i compiti e le attività sono la forma primaria. Lo scenario espone non solo la funzionalità del sistema, ma specifica come l'utente accederà alle funzionalità e ciò che l'utente sperimenterà nel farlo. (J. Carroll 1999)<sup>86</sup>. Di fatto uno scenario parte da un problema funzionale e tende a spiegare il come si intenda risolverlo.

Le componenti di uno scenario sono:

- Contesto: esplicitamente descrive lo stato di partenza, che comprende gli oggetti;
- Attori (o personas): le persone coinvolte attivamente nello scenario;
- Obiettivi dell'attore: le modifiche che l'attore vuole raggiungere nel contesto;
- Obiettivo dello Scenario: risponde alla domanda: "perché è accaduto lo scenario?";
- Trama: sequenze di eventi e attività svolte da attori.

Gli scenari possono essere presentati con mappature polari, infografiche, moodboard, testi-storie, video, story-board e non, utili non solo in fase di brainstorming ma anche come strumento di comunicazione e divulgazione di un'idea all'interno di un'organizzazione o all'esterno per la valutazione con potenziali utenti/stakeholders.

Gli scenari presentati in questa relazione consistono in situazioni di vita domestica e privata, dove ICT o IOT sono presenti; saranno illustrati per rappresentare tali situazioni in maniera più realistica mediante:

- Personas
- Moodboard
- Mapping (mappatura – quadrato semiotico)
- Mind map
- Storyboard tramite pittogrammi semplificati (storie sotto forma di schizzi e disegni) per descrivere la situazione.

Gli scenari rendono possibile vedere le somiglianze e le differenze tra diverse situazioni, permettono di visualizzare gli utenti mentre utilizzano nuovi prodotti e servizi in contesti futuri che determinano nuovi comportamenti potendo affrontare contemporaneamente aspetti personali, sociali e tecnologici di uso del prodotto e del servizio.

Le differenze tra gli scenari sfruttano i risultati alternativi dei fattori che sono stati giudicati essere sia di impatto sia di importanza per il periodo 2016-2025, ovvero i fattori mappati nei quadranti nella mappatura semiotica che riguardano le tendenze produttive delle aziende nel mercato degli apparecchi di illuminazione prevalentemente domestica (**low technology – low investment vs high technology - high investment**) e i driver di sviluppo futuri che da un lato guardano i sistemi, e tecnologie volte all'aumento dell'efficienza energetica (in senso lato chiamata sostenibilità – **sustainability**) e dall'altro invece si rivolgono ad un sistema di illuminazione per il miglioramento del benessere personale e individuale (**wellness**), anche in ambito residenziale.



Figura 72- Mappatura degli scenari nei quadranti nei quadranti semiotici

Da qui i quattro scenari:

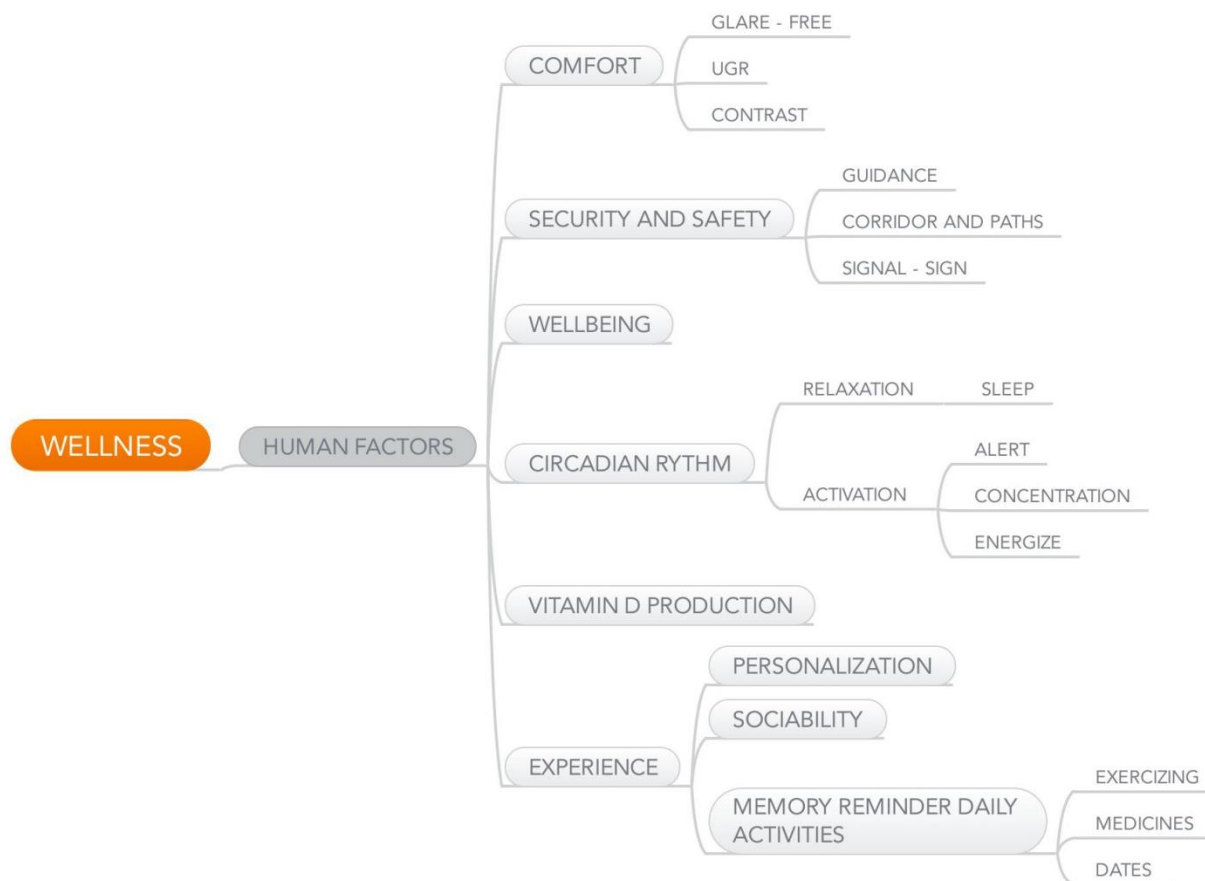
**Scenario 1: uno scenario di cambiamento incrementale, DIY (Do it Yourself) Good Light**

**Scenario 2: uno scenario cambiamento veloce radicale, Smart Stay Well Light**

**Scenario 3: uno scenario di cambiamento incrementale, Make your Negajoule Light**

**Scenario 4: uno scenario cambiamento veloce radicale, Active Light**

## 9.1 Illuminazione per il benessere



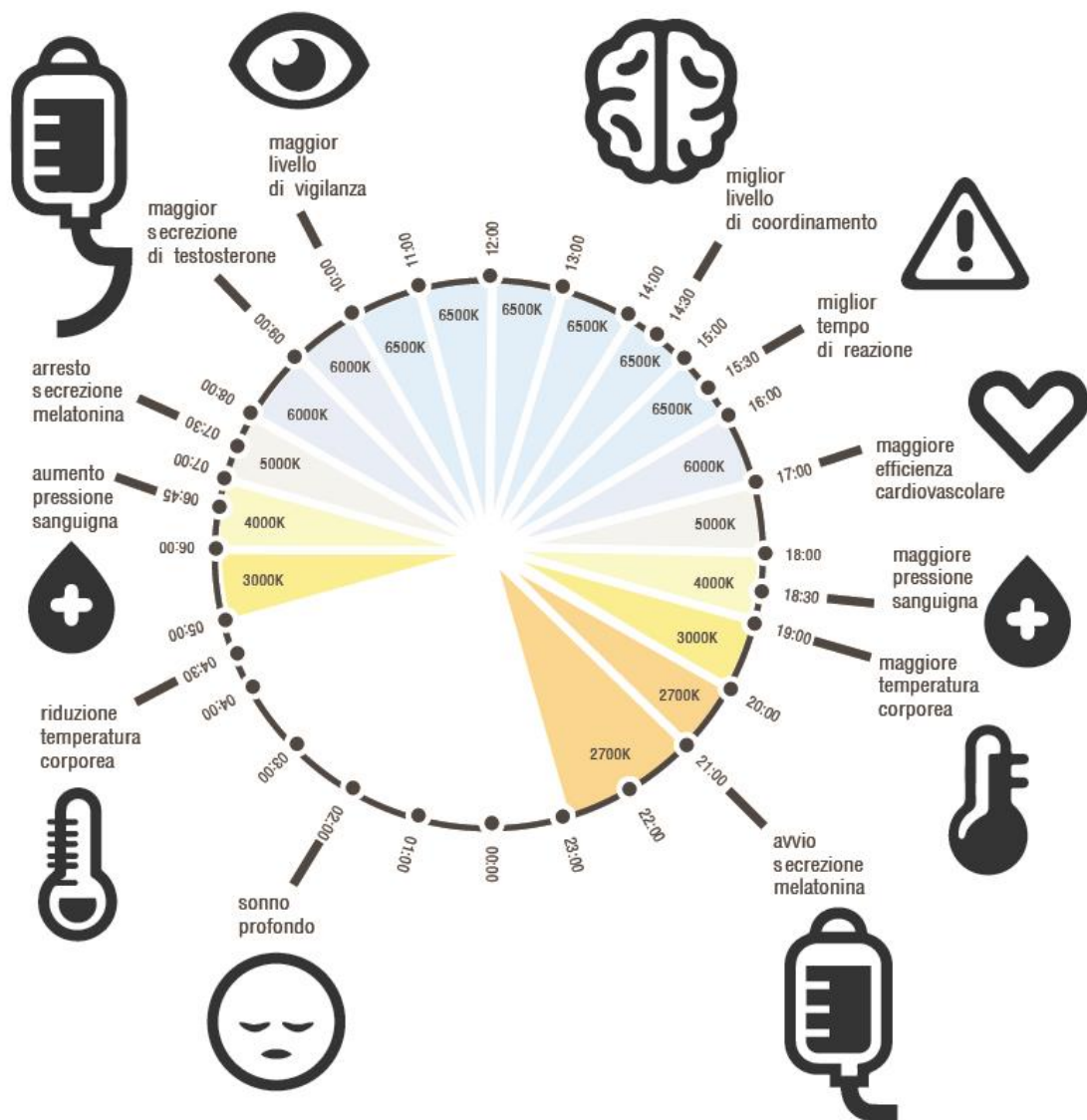
**Figura 73 – Fattore emergente di importanza: Benessere e illuminazione**

L'illuminazione rivolta al benessere dell'individuo è una branca sempre più ampia della progettazione della luce e prende in considerazione sia aspetti che riguardano il comfort visivo e la qualità dell'ambiente vissuto e illuminato, nello specifico in ambito domestico, focalizzandosi sulla necessità di creare ambienti con atmosfere confortevoli (limitare UGR e contrasti troppo elevati, controllare l'abbagliamento diretto e indiretto) e utile a garantire la sicurezza nel percorrere corridoi e percorsi in casa. Oltre a ciò si riferisce al benessere mediante l'illuminazione anche per aspetti che riguardano lo stare meglio in termini di salute: un'illuminazione bio-adattiva per il controllo del benessere fisico e mentale dell'individuo. Un esempio è la luce per il controllo dei ritmi circadiani che portano al corretto equilibrio ormonale e delle fasi di sonno/riassamento e di allerta/sveglia che portano alla concentrazione e attivazione energetica. In generale in questo senso l'illuminazione artificiale viene utilizzata come mezzo per migliorare il sonno durante la notte (diminuire l'insonnia) e migliorare le capacità mentali durante il giorno oltre a ridurre gli stati depressivi dovuti alla deprivazione della corretta quantità di luce diurna. Una più salubre esposizione alla luce può controllare anche la produzione di vitamina D e garantire il corretto mantenimento di salute dell'apparato scheletrico. Infine l'illuminazione per il benessere può anche essere letta in chiave di

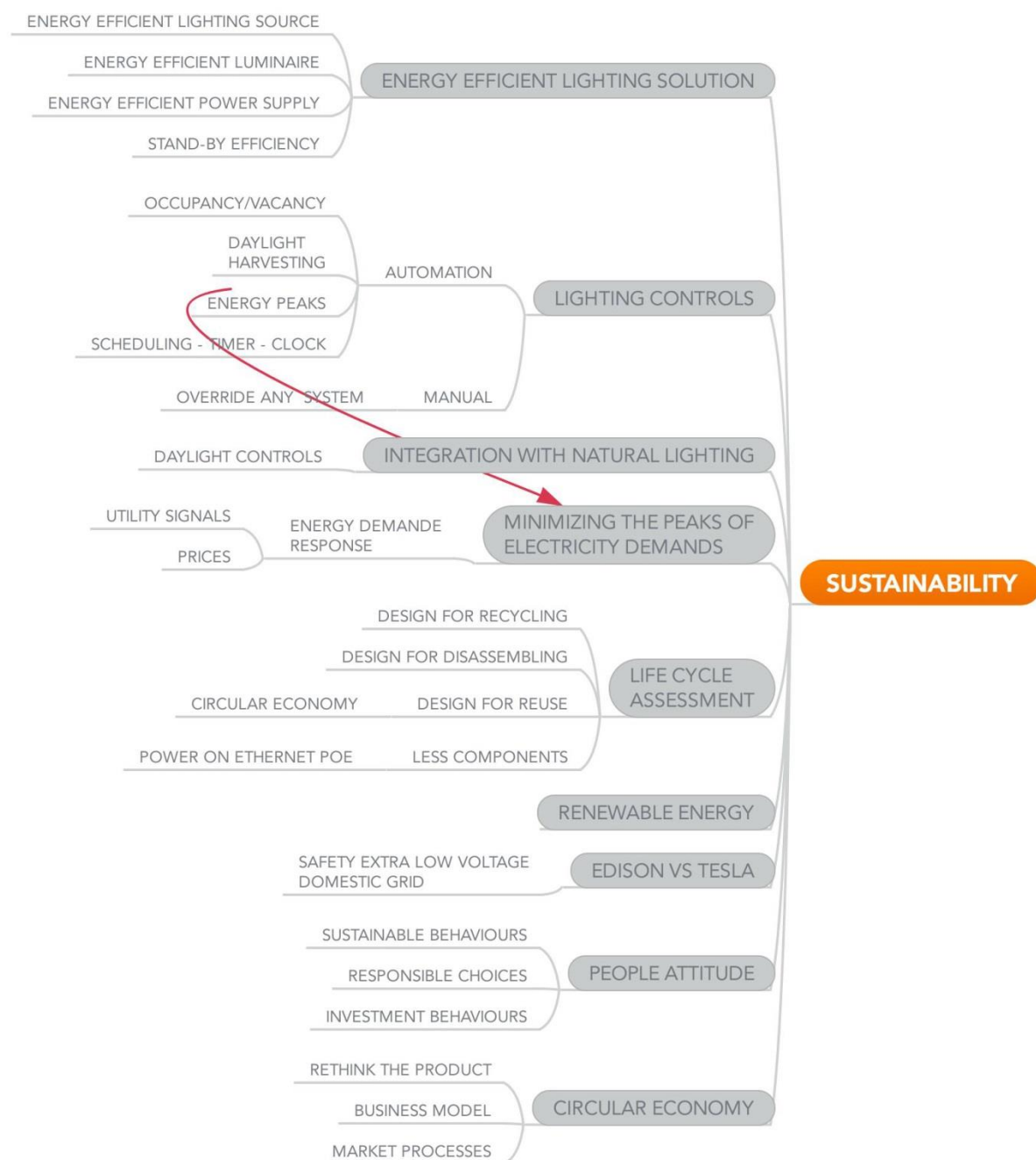
aumento dell'esperienza individuale mediante la personalizzazione (automatica o manuale) degli scenari e delle caratteristiche di illuminazione, mediante la socializzazione e l'interazione con un mezzo luminoso che permette anche il contatto (astratto o diretto) con parenti e amici, mediante la segnalazione e il ricordo di attività funzionali quali esercizi, assunzione di farmaci e il rispetto di appuntamenti.

### 9.1.1 Illuminazione esperienziale bio-adattiva

Numerose ricerche hanno focalizzato l'attenzione sull'illuminazione bio-adattiva: si tratta di progettare degli spazi di vita in cui la luce sia energizzante e rigenerativa, adattata alle necessità psichiche (funzioni cognitive e inconscie) dell'uomo, modificabile per creare un'esperienza personalizzata e stimolante, utile ad aumentare la concentrazione, riconquistare l'attenzione o prendersi una pausa momentanea. La luce modifica l'atmosfera del luogo in cui si vive producendo una varietà atmosferica ispirata alla luce naturale, al fine di creare un'alternanza corretta di stimolo sensoriale e di attrazione dell'attenzione, contribuendo a far rimanere vigili, svegli, attivi e di stimolo al sonno aiutando a dormire meglio la notte.



## 9.2 Illuminazione e sostenibilità



**Figura 74 - Fattore emergente di importanza: illuminazione e sostenibilità**

Il tema della sostenibilità e illuminazione in questo specifico studio si focalizza sulla sostenibilità ambientale ed energetica sia in fase di progettazione che di utilizzo del sistema stesso. Il tema è molto ampio ed attiene al controllo ed efficientamento energetico dell'intero sistema di illuminazione, alle modalità di generazione, erogazione e controllo dell'energia elettrica nella rete, al modo in cui vengono progettati gli apparecchi e le sorgenti di illuminazione, alle modalità di vendita e distribuzione e infine anche al comportamento delle persone, ovvero dei consumatori.

Per quanto riguarda l'efficienza energetica del sistema illuminazione, soprattutto durante l'uso, ci si riferisce non solo all'efficienza energetica delle sorgenti di illuminazione ma anche al rendimento dell'apparecchio in cui esse vengono inserite nonché all'efficienza del sistema di alimentazione e del consumo energetico durante lo stand-by degli apparecchi. A questi temi, si associa il risparmio energetico

ottenuto mediante i sistemi di controllo siano essi automatici e quindi basati sull'utilizzo di sensori di presenza, di illuminazione naturale, di rilevamento di picchi energetici nella rete oppure siano operabili in modalità manuale. La fornitura dell'energia elettrica per l'illuminazione è un ulteriore elemento di approfondimento e riflessione e attiene alla modalità con cui viene generata, erogata ed utilizzata in ambito domestico: alcune riflessioni odierne riguardano la divisione della rete elettrica domestica e specializzazione della stessa per gli apparecchi di illuminazione a bassissima tensione (24V) al fine di ridurre le dispersioni e ottenere maggiore efficienza. Questo nuovo approccio con una rete di energia elettrica solo per l'illuminazione favorirebbe l'utilizzo di sistemi di approvvigionamento energetico alternativi, basati sul solare, su mini-eolico o altre fonti di produzione locale (micro-grid).

Un fondamentale elemento che riguarda la sostenibilità ambientale dell'intero sistema di illuminazione riguarda la fase di progettazione focalizzata sul ciclo di vita degli apparecchi (sorgenti + scocca + ausiliari elettrici + driver di controllo) e quindi garantendo una facile manutenzione, smantellamento e conseguente riuso o riciclo delle componenti (Design for maintenance, Design for recycling, Design for disassembling, design for reuse) diminuzione delle componenti e della complessità generale del sistema-prodotto. A questo si ricollega il tema della sostenibilità economica (economia circolare) del sistema di illuminazione che possa prevedere nuovi servizi a garanzia di una migliorata gestione delle componenti e del fine vita del prodotto: ad esempio, visto l'allungamento della durata di vita degli apparecchi con sorgenti a LED, il sistema dovrà prevedere diversi tempi di utilizzo e deterioramento delle varie componenti (sistema motore luminoso e componenti elettroniche come gli ausiliari elettrici) oppure modalità di upgrade tecnologico di parti degli stessi apparecchi (vista la veloce obsolescenza e il miglioramento continuo delle performance). Infine, un elemento di approfondimento riguarda le scelte e i comportamenti dei consumatori finali che ricoprono un ruolo fondamentale nel garantire l'effettiva efficienza dei sistemi di illuminazione: in particolare i comportamenti sostenibili, le scelte responsabili e gli investimenti verso soluzioni più sostenibili sono fondamentali per una visione olistica della sostenibilità del sistema illuminazione.

### 9.3 Cambiamenti tecnologici radicali o incrementali

Questi fattori attengono al modo in cui verranno recepiti i cambiamenti tecnologici nel sistema di illuminazione (SSL + IoT + ICT) da parte degli imprenditori (aziende tradizionali produttrici di apparecchi di illuminazione, aziende nel settore dell'elettronica, aziende tecnologiche, nuove start-up, etc) e nel modo in cui verranno attuate delle modifiche negli assetti strategici delle aziende e verranno elaborati piani per lo sviluppo di nuovi prodotti rivolti sia alla sostenibilità energetica ed ambientale sia al benessere dell'individuo nel settore domestico.



**Figura 75 - Fattore emergente di importanza: Investimenti minimi e minima tecnologia**

Tradizionalmente si distinguono due macro comportamenti verso l'innovazione: l'uno di tipo incrementale e l'altro di tipo radicale. Nel primo caso si tratta di aziende non particolarmente innovative che attuano modifiche al proprio business model (sistema produttivo, linee di design, strategie di marketing, prodotti e servizi) per stare al passo con i tempi, inseguendo le grosse aziende, tentando di erodere il mercato già



aperto dalle aziende innovatrici mediante soluzioni che, assomigliano per caratteristiche e funzioni e/o imitano le tendenze già in atto. La loro strategia come follower è a breve e medio termine e spesso manca di una visione lungimirante e programmatica del modo in cui si evolverà il mercato e quindi l'offerta dell'azienda. I maggiori investimenti sono concentrati sulle modifiche formali e materiche dei prodotti e sull'upgrade aziendale per una corretta transizione alla tecnologia a LED: numerose aziende operanti nel settore domestico hanno sofferto il passaggio verso le nuove tecnologie allo stato solido dato che questo ha, da un lato aumentato la complessità e quindi i costi dei prodotti offerti e diminuito l'affidabilità dei prodotti stessi (sia per mancanza di informazioni e conoscenza), nonché determinato la trasformazione dell'intera filiera produttiva e del modo in cui vengono disegnati gli apparecchi di illuminazione. Nella maggior parte dei casi, questi ulteriori livelli di complessità non hanno permesso di comprendere pienamente le potenzialità dei LED nell'illuminazione e ha portato ad uno scarso interesse, almeno attuale, per i temi relativi al controllo dell'illuminazione (IoT, ICT, SMART Lighting). Allo stesso modo, i temi di ricerca più recenti relativi allo Human-centric lighting non vengono approfonditi e/o utilizzati per una trasformazione aziendale dei prodotti di illuminazione offerti.

Inoltre, numerose aziende, pur essendo estremamente competitive da un punto di vista del design e avendo un impatto comunicativo estremamente efficace, non hanno ancora esplorato il tema dello Smart Lighting: questo probabilmente deriva sia dallo scarso interesse per il tema, sia dalla mancanza di figure e professionalità specifiche in questo particolare settore.



**Figura 76 - Fattore emergente di importanza: alti investimenti e elevata tecnologia**

Contrapposto all'atteggiamento incrementale, l'innovazione radicale presuppone l'intraprendenza di aziende a investire su temi tecnologici con strategie a medio e lungo termine: si tratta di aziende innovatrici o di piccoli nuclei multidisciplinari che sfruttano le disponibilità attuali in termini di LED e ICT per lo sviluppo di prodotti ad alto livello di innovazione. Gli apparecchi di illuminazione vengono pensati, oltre al livello formale, produttivo e materico, come parte di un sistema intelligente, connesso, interattivo e in grado di fornire ulteriori servizi e funzionalità. Si tratta spesso di colossi aziendali di lunga storia e grande entità o diversamente di piccole aziende nate di recente (start-up) che utilizzano sistemi di crowdfunding come strumento per finanziare le proprie idee e portarle sul mercato. Interessante ai temi tecnologici e di ricerca.



## 10 Scenari

### 10.1 Scenario 1: DIY Good Light

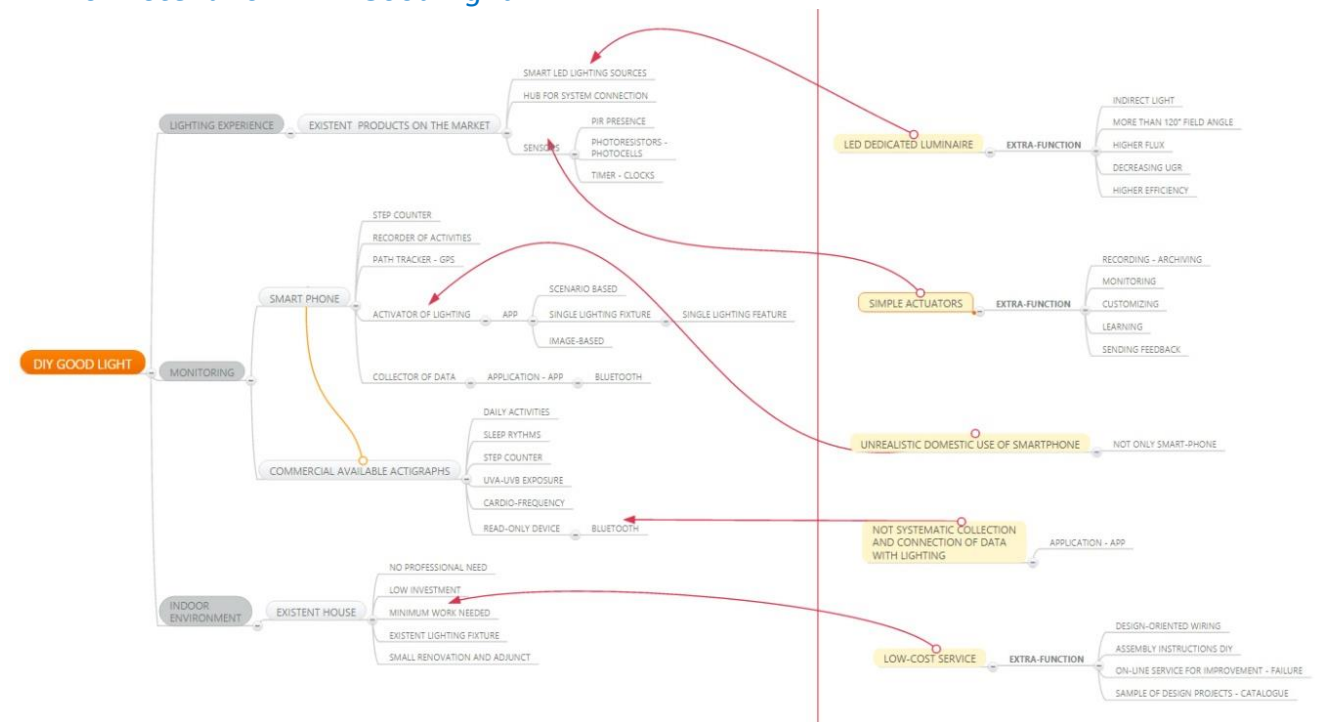


Figura 77 – Scenario DIY Good Light

#### 10.1.1 Parole chiave

Connessione semplificata, lampadina intelligente, sistema di monitoraggio, qualità ambientale, servizio low-cost, abitazioni esistenti, sensori a bassa risoluzione, cablaggio esterno.

#### 10.1.2 Descrizione

Lo scenario DIY Good Light è caratterizzato da un incrementale passo in avanti rispetto alla situazione tecnologica odierna in cui sono quindi previsti bassi investimenti delle aziende produttrici di illuminazione a fronte di un impatto comunicativo importante. Il focus dello scenario è la creazione di un sistema di illuminazione domestica che garantisca un'esperienza luminosa superiore, un'ambiente qualitativamente migliore, una luce personalizzabile e utile per risincronizzare l'orologio biologico (benessere personale). Lo scenario si sviluppa a partire dai seguenti trend ed indicazioni:

- Il mercato si sta saturando di lampadine e soluzioni a LED di tipo SMART in grado di connettersi via internet o blue-tooth. Di recente sono nate un gran numero in sorgenti di illuminazione con attacco E27 in grado di regolare l'illuminazione su base giornaliera per rilassare o attivare l'individuo. Tali soluzioni al momento non sembrano essere integrate in un sistema univoco, ovvero non comunicano tra di loro e non sono connesse, se non in sporadici casi, a sistemi intelligenti domestici di insieme. Sebbene le più grandi aziende abbiano reso i propri protocolli pubblici e siano compatibili con diversi produttori di sorgenti di illuminazione, la maggior parte dei sistemi di lampadine a LED rimane ancorato al proprio sistema di gestione e protocollo (Figura 78).
- Il sistema di gestione non sempre risulta particolarmente efficiente. I sensori attualmente disponibili sul mercato sono a bassa risoluzione (presenza con PIR, illuminazione con foto-resistenze) e inoltre sono semplici attuatori. Non esiste un sistema in grado di monitorare e archiviare i dati a lungo termine per derivare dei trend e generare degli algoritmi di apprendimento.
- Poche aziende produttrici di apparecchi di illuminazione tradizionali hanno sviluppato apparecchi di illuminazione a LED con funzioni bio-adattive per l'ambito domestico.
- L'interazione con le sorgenti di illuminazione SMART avviene tramite smartphone che, tramite un'applicazione, gestisce diversi scenari di illuminazione oppure controlla le singole caratteristiche del sistema di illuminazione. Questo a volte complica relativamente le operazioni di gestione della luce.

Inoltre risulta opinabile l'utilizzo unico dello smartphone che spesso viene abbandonato in ricarica e non risulta utile nel gestire l'illuminazione di diverse stanze della casa.

- Data la grande offerta di sorgenti SMART competitor tra di loro, si prevede una diminuzione dei prezzi fino a farle diventare una commodity (al pari delle sorgenti a LED non intelligenti). La promessa di esperienza e delle funzioni associate all'illuminazione garantirà la diffusione di questi sistemi intelligenti in ambito domestico. La diminuzione del prezzo e la possibilità di costruire un sistema di illuminazione di facile gestione (senza la necessità di avvalersi di specifici professionisti) aumenta l'appeal verso questi prodotti.
- Gli utenti sono sempre più interessati al monitoraggio delle proprie attività tramite l'utilizzo di smartphone e di actigrafi vari, sebbene tale interesse risulti limitato nel tempo se non incentivati: in particolare percorsi e passi effettuati, attività quotidiane, appuntamenti in calendario, esposizione alla luce, qualità del sonno, pasti effettuati etc. sono tutte le informazioni che ad oggi vengono rilevate in maniera disaggregata da diversi supporti.
- Sorgenti di illuminazione, sensori domestici, actigrafi e smartphone ad oggi non sono collegati in un sistema univoco e funzionale all'illuminazione volta al benessere. Le informazioni sono separatamente utilizzate e spesso non sono archiviate o rielaborate per ottenere statistiche, indicazioni di trend e per suggerire consigli di utilizzo personalizzati per gli utenti.
- La qualità dell'illuminazione ambientale domestica è inficiata dal singolo punto luce centrale che non permette di creare degli ambienti confortevoli. L'introduzione di ulteriori apparecchi di illuminazione (indiretta e task) è fortemente consigliata per migliorare il comfort e la funzionalità della luce. Per questo motivo un numero adeguato di apparecchi di illuminazione risulta necessario in relazione ai compiti visivi e alle attività svolte in ambito residenziale.
- L'ambiente domestico necessita di una trasformazione, tramite sistemi di illuminazione integrabili, cablaggio aggiunto all'esistente, potenziando e rendendo più fruibile la casa con diversi punti luce specializzati e facilmente spostabili. Tale integrazione può avvenire in maniera semplice, con investimenti limitati e nessuna necessità di professionisti specifici allo scopo, mediante soluzioni soddisfacenti anche da un punto di vista estetico/formale. (Figura 79)
- La personalizzazione dell'esperienza luminosa si esplica sia nella libertà di scegliere le atmosfere luminose, sia nell'utilizzo dei propri apparecchi riadattati con tecnologie intelligenti, sia nell'utilizzo di sistemi di cablaggio esterni ad integrazione dell'impianto elettrico esistente.



**Figura 78 – Moodboard: Sorgenti di Illuminazione a LED per il benessere disponibili sul mercato e funzionali ad ricalibrare l’orologio biologico e i ritmi circadiani sonno/veglia - concentrazione/relassamento**





81

10.1.3 Concept

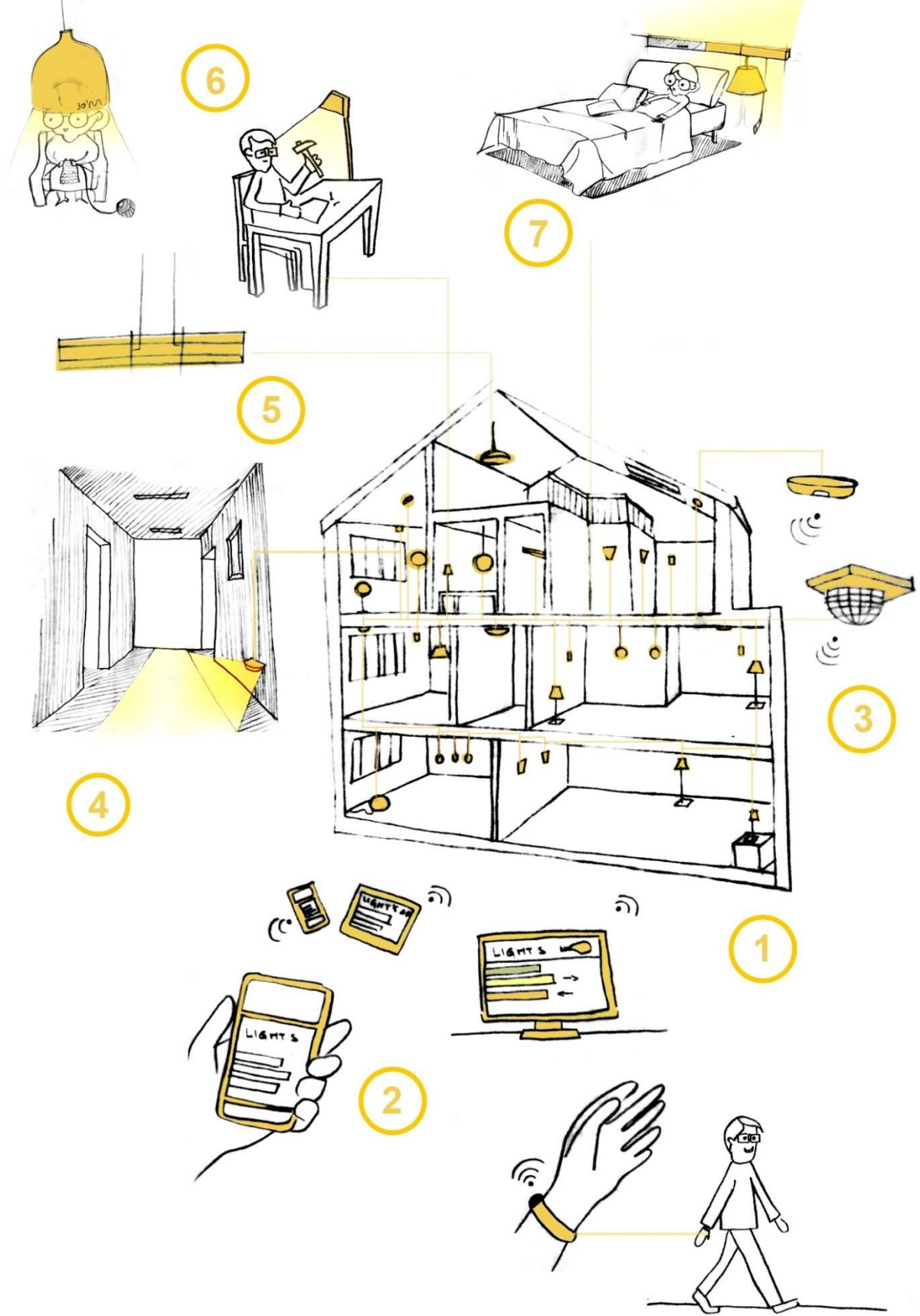


Figura 80 - Scenario 1 DIY Good Light

### 10.1.3.1 Good Lights' app (1 – 2 - 3)

Le sorgenti di illuminazione SMART a LED e gli apparecchi di illuminazione saranno tutti connessi attraverso un sistema intelligente per permettere di far confluire tutti i dati relativi in un unico sistema. Allo stesso modo le informazioni relative al sistema di sensori locali domestici (PIR, sensori integrati di luminosità) e sensori individuali (indossabili) vengono integrate ad informare il sistema.

Un'applicazione integrata (tablet, smartphone, computer) infine monitora, organizza, registra e archivia tutte le informazioni relative alla casa (mediante sensori locali) e all'individuo (mediante sensori indossabili) in termini di attività domestiche, di comportamenti (attività fisiche, sonno, esposizione alla luce solare) e di funzionalità (status dell'illuminazione). Si occupa di fornire dei trend di utilizzo, informa l'utente dei suoi comportamenti, consiglia per migliorare il proprio benessere, incentiva ad effettuare specifiche attività a determinati orari dando delle premialità, comparando il proprio trend con quello di altri. Infine il sistema può connettersi con parenti o con il proprio dottore per informare di trend negativi ed eventi particolari al fine di segnalare un problema in maniera preventiva.

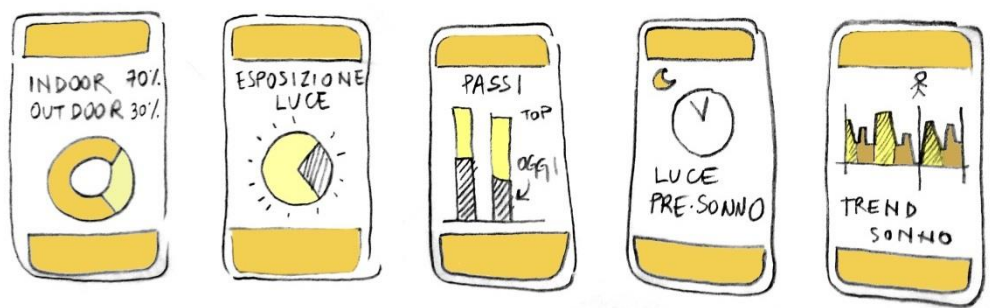


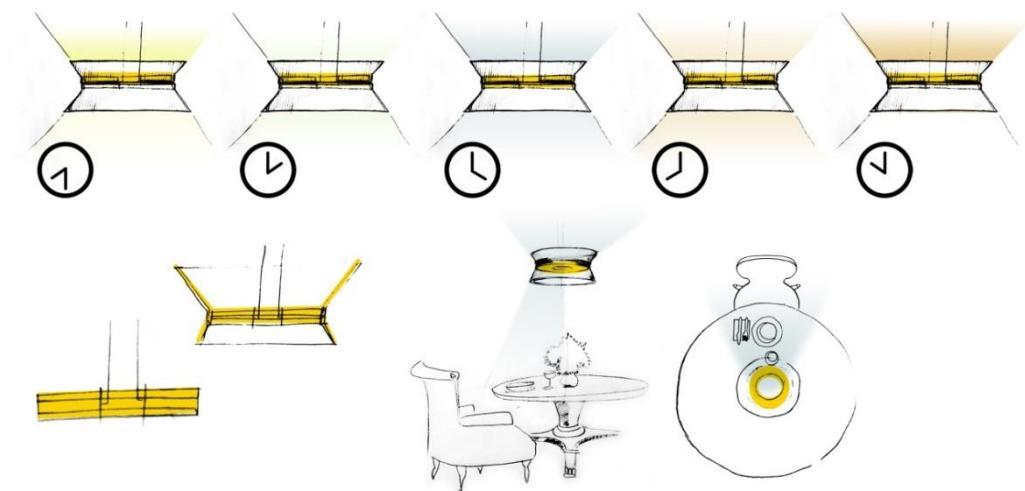
Figura 81 – Good Lights' app

### 10.1.3.2 LEDinaire (6 - 5)

Un sistema di motori luminosi efficienti, sostenibili ed intelligenti, in grado sia di comunicare con le altre sorgenti di illuminazione SMART sia con l'applicazione GoodLights' App. Tali motori luminosi modulari e flessibili nell'utilizzo (con caratteristiche spettrali diverse e distribuzioni luminose modificabili) assolveranno a differenti funzionalità e garantiranno un'illuminazione confortevole e orientata al benessere. Potranno essere personalizzati in maniera libera dal consumatore mediante una selezione di materiali e forme.

**LEDinaire A** risolve il punto di illuminazione centrale che viene reso più efficiente e intelligente attraverso il progetto di un motore luminoso caratterizzato da due moduli: uno ad emissione diretta e l'altro ad emissione indiretta. La corretta dissipazione termica e la gestione dell'alimentazione e del controllo con intelligenza a bordo permette la modifica della performance luminosa in termini di temperatura di colore del bianco, distribuzione luminosa (per ottenere diverse zone illuminate) e diverse quantità di flusso. Questo motore luminoso può essere gestito tramite la GoodLights' App e personalizzato con diversi materiali e finiture (Figura 82).

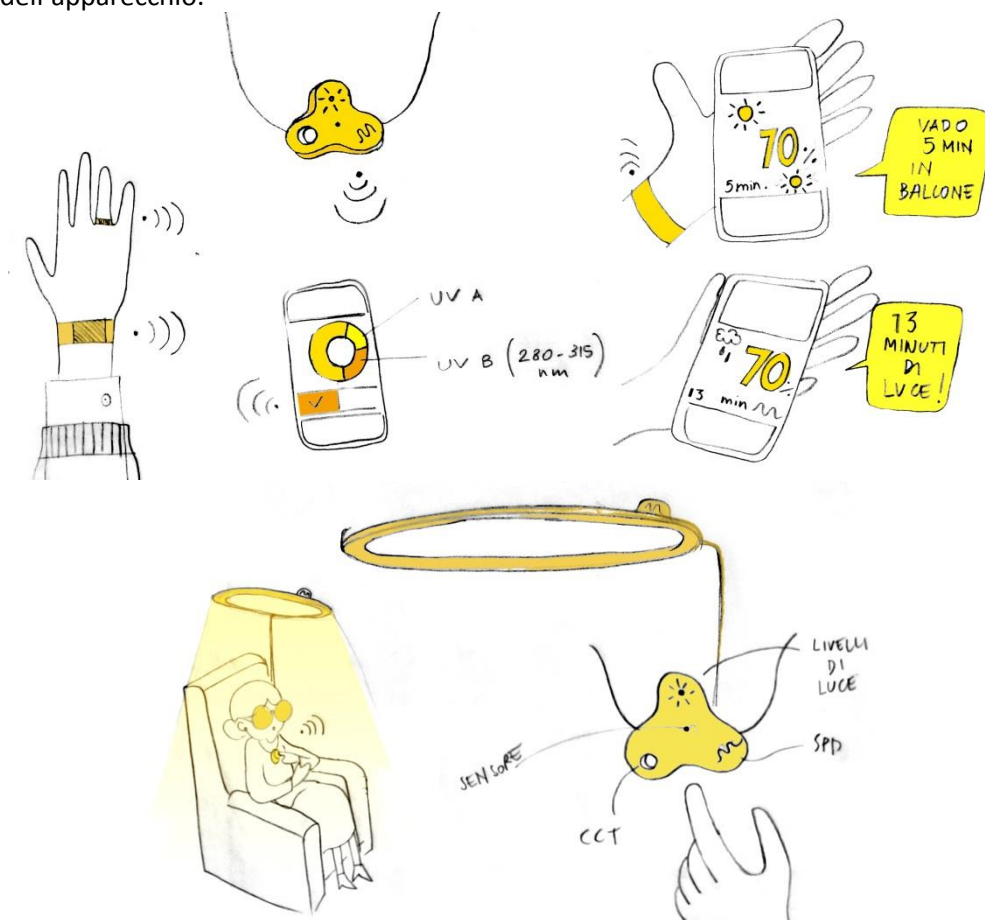




**Figura 82 - LEDinaire A: motore luminoso per illuminazione circadiana diretta e indiretta**

**LEDinaire C** è un motore luminoso portatile per l'illuminazione task, ovvero dei compiti visivi di concentrazione e focalizzazione. Permette di modificare la temperatura di colore del bianco e di variare la distribuzione luminosa tra diretta e indiretta, spot chiuso e spot aperto.

**LEDinaire D** è un motore luminoso particolare che infonde la giusta quantità di luce UVB per la sintetizzazione della Vitamina D in mancanza di luce naturale. Quando il sistema di sensori indossabili rileva che l'utente non è stato sufficientemente esposto ad una quantità di luce utile a tale scopo, suggerisce all'utente di esporsi per i minuti utili ad una ricetta luminosa: luce naturale quando possibile e luce artificiale dell'apparecchio.

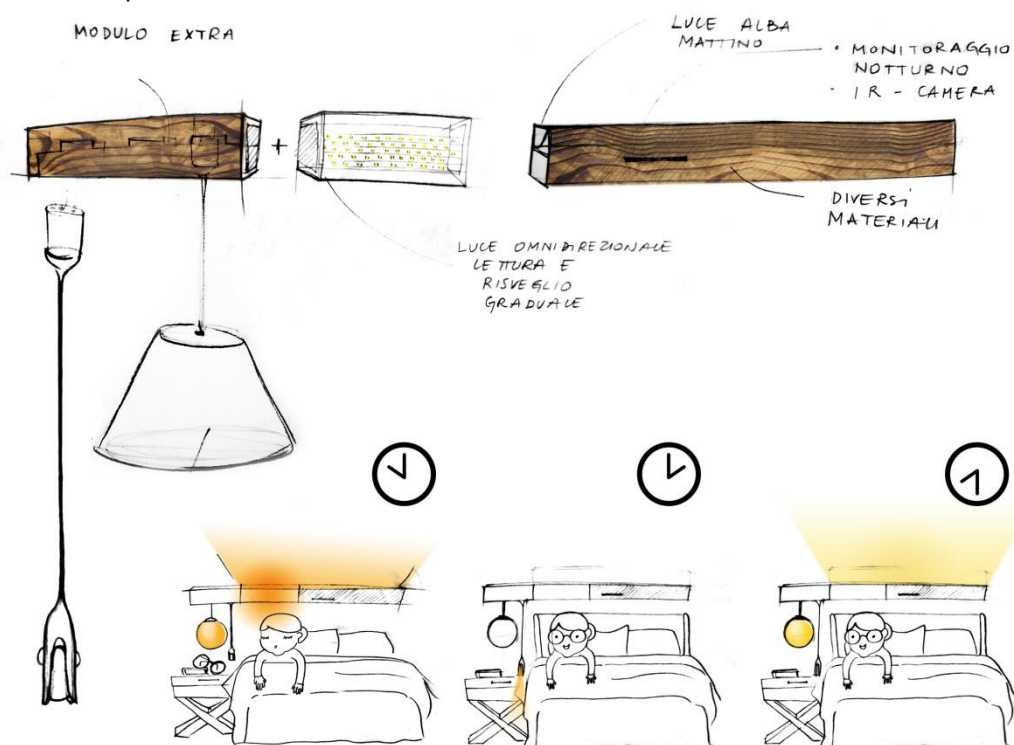


**Figura 83 - LEDinaire C**



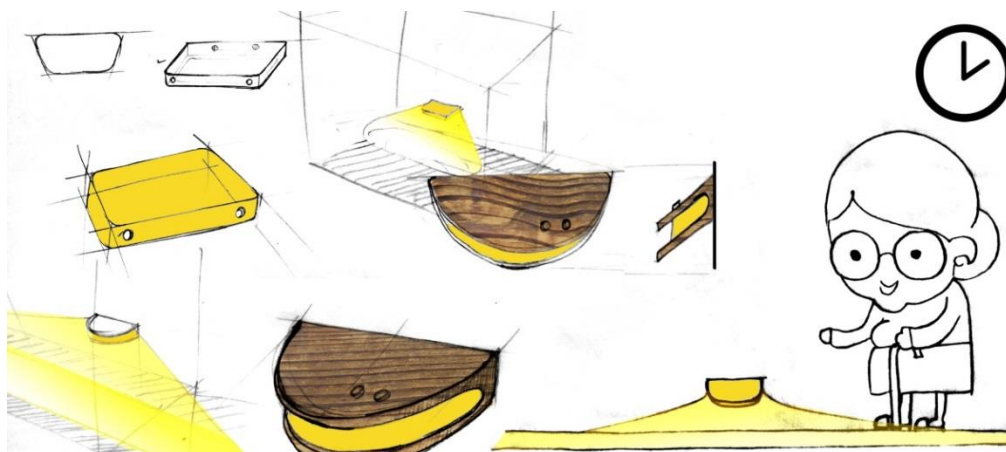
### 10.1.3.3 GoodNightlight (4 – 7)

Un sistema di apparecchi specializzato per accompagnare le fasi dell'addormentamento e del risveglio al mattino nonché delle fasi di risveglio notturno da installare specificatamente nella stanza da letto e nei percorsi e corridoi. Il sistema per il letto (7) prevede l'installazione di un apparecchio lineare minimale a muro con la capacità di integrare diverse funzioni perché costituito da diversi moduli: illuminazione omnidirezionale per la lettura, illuminazione indiretta per simulare l'alba e il tramonto, modulo contenente sensori (presumibilmente una camera IR) per il monitoraggio del sonno e dei risvegli notturni e un modulo extra per inserire ulteriori apparecchi di illuminazione e anche un sistema di illuminazione del percorso che dal letto conduce alla porta.



**Figura 84 – GoodNightlight modulo testaleto**

Il sistema è corredato da una serie di moduli inseribili lungo i camminamenti e i corridoi e funzionali ad illuminare con la corretta temperatura di colore i percorsi al fine di renderli più sicuri. Il sistema funziona a batteria oppure necessita di un collegamento esterno e colloquia con l'intero sistema di apparecchi. È corredato di sensori di presenza on-board e può essere customizzato in funzione delle specifiche necessità (forma, materiali, colori).



**Figura 85 - GoodNightlight modulo corridoio**

## 10.2 Scenario 2: Smart StayWell Light

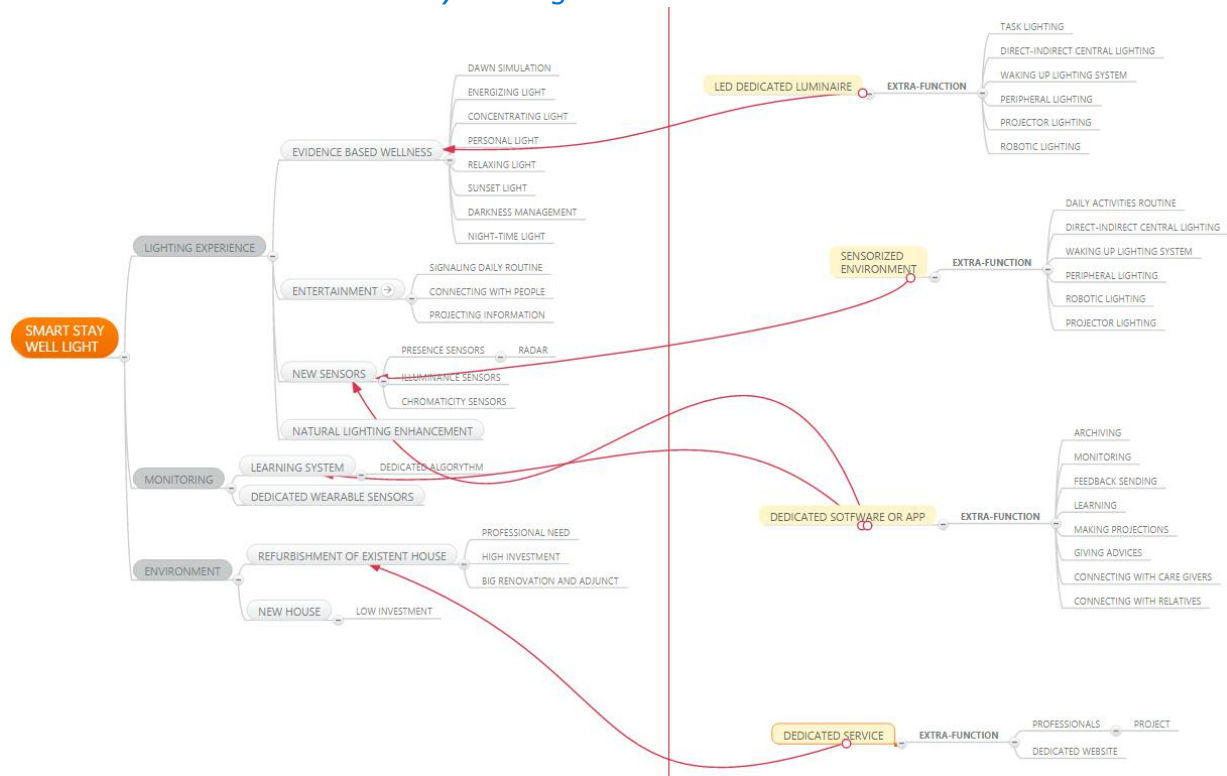


Figura 86 - Scenario Smart StayWell Light

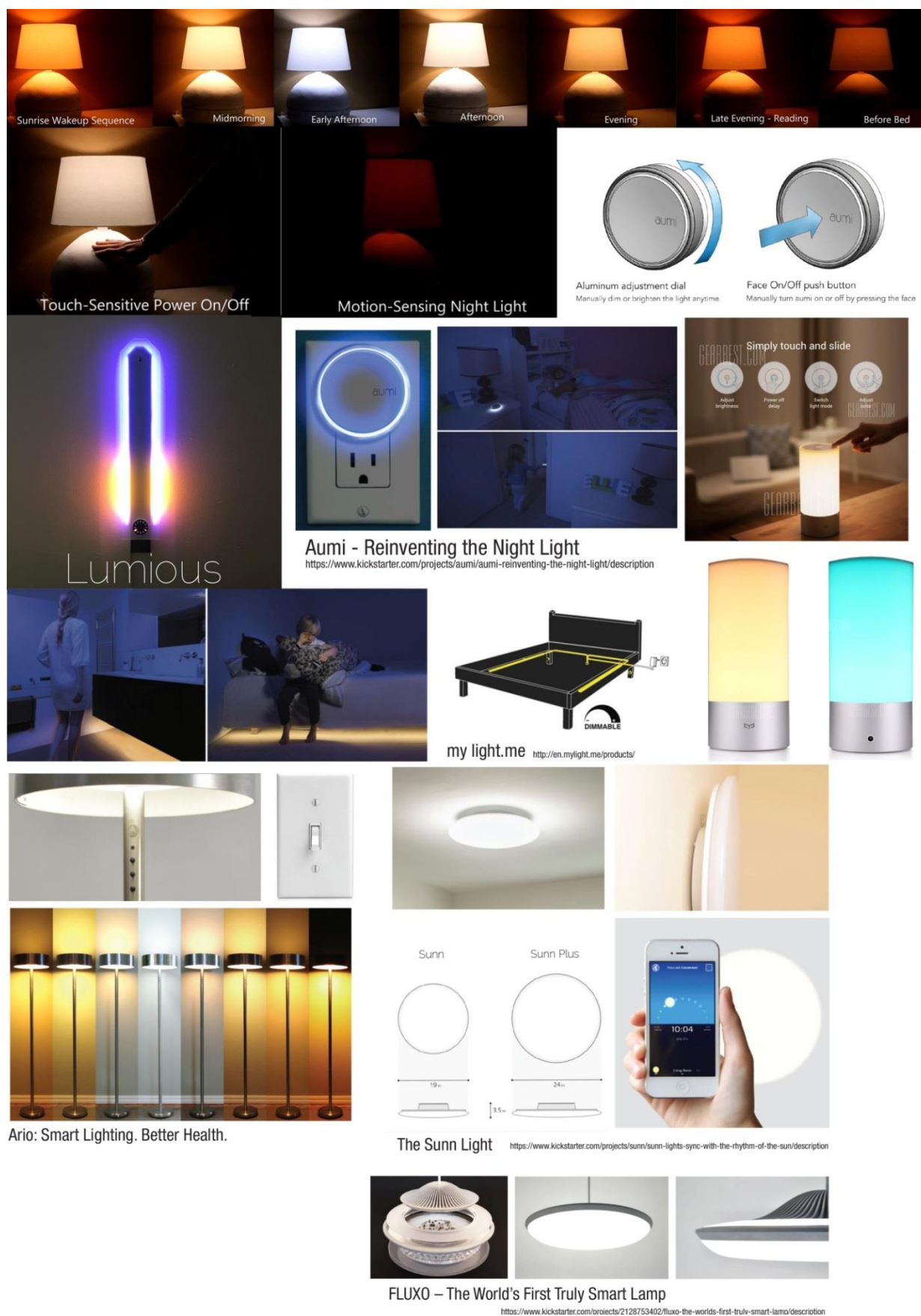
### 10.2.1 Parole chiave

Connessione cloud, motori luminosi bio-adattivi, sensori avanzati, qualità ambientale, flessibilità.

### 10.2.2 Descrizione

Lo scenario SMART Stay Well Light è caratterizzato da un radicale passo avanti rispetto alla situazione tecnologica odierna in cui quindi sono previsti elevati investimenti delle aziende produttrici di illuminazione e di aziende esterne alla tradizione dell'illuminotecnica a fronte di un impatto di innovazione molto significativo. Il focus dello scenario è la creazione di un sistema di illuminazione bio-adattiva domestica che garantisca un'esperienza luminosa superiore, estremamente flessibile e personalizzabile, utile per risincronizzare l'orologio biologico (benessere personale) non formalmente simile allo scenario di illuminazione domestica tradizionale. Lo scenario si sviluppa a partire dai seguenti trend e indicazioni:

- Alcune micro-realtà stanno sviluppando sistemi di illuminazione e motori luminosi che hanno funzionalità avanzate e li sottopongono al giudizio del mercato direttamente attraverso forme di finanziamento dal basso. Questi apparecchi sono spesso caratterizzati dalla capacità di essere multifunzionali, collegati ad Internet e ad un'applicazione e permettono la personalizzazione dello scenario luminoso. Sia che si tratti di gadget dalle forme e funzionalità più disparate sia che si tratti di apparecchi più simili a quelli di cui siamo abituati, questi sistemi di illuminazione sono estremamente intelligenti, capaci di connettersi ad internet, muoversi e regolarsi in funzione delle esigenze personali.
- Gli apparecchi di illuminazione più tradizionali hanno funzionalità di luce avanzate ma permangono nelle loro categorie funzionali come apparecchi da tavolo, sospensioni e applique di cui sia possibile modificare temperatura di colore, distribuzione spettrale, oppure sia possibile ottenere proiezioni di informazioni e captazione dei movimenti degli utenti, connessione ad internet (Figura 87 - Figura 88). Un ulteriore trend è quello della comparsa di apparecchi di illuminazione robotici la cui estetica è più vicina alla robotica che all'illuminotecnica: sono dotati di motori e di elevata intelligenza, capaci di muoversi fisicamente nello spazio, seguendo gli utenti, entrando in connessione "emotiva" e orientando il flusso di illuminazione dove utile.



**Figura 87 – Moodboard: apparecchi di illuminazione per il benessere domestico**



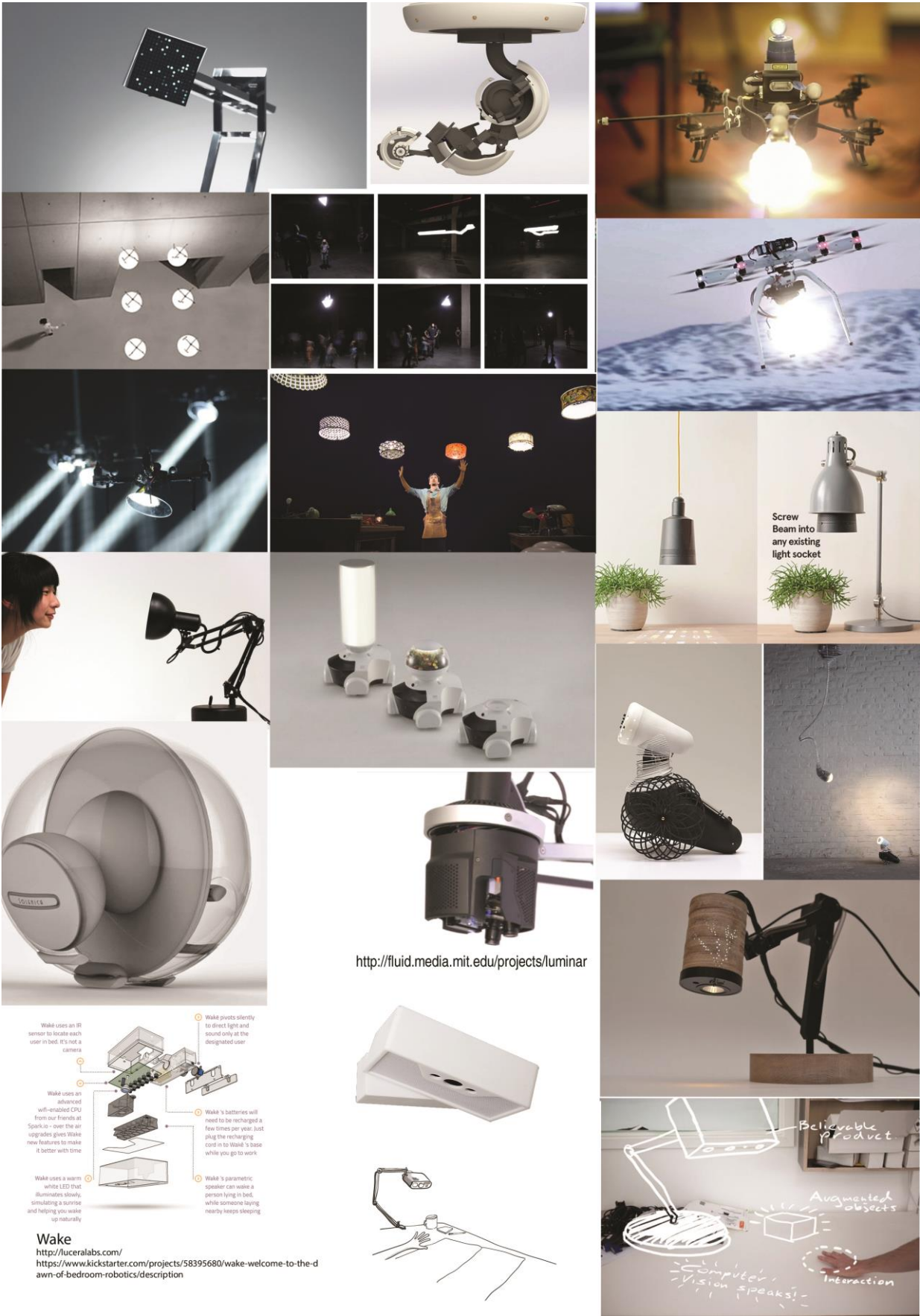


Figura 88 – Moodboard: sistemi di illuminazione robotica che integrano movimento e intelligenza

### 10.2.3 Concept

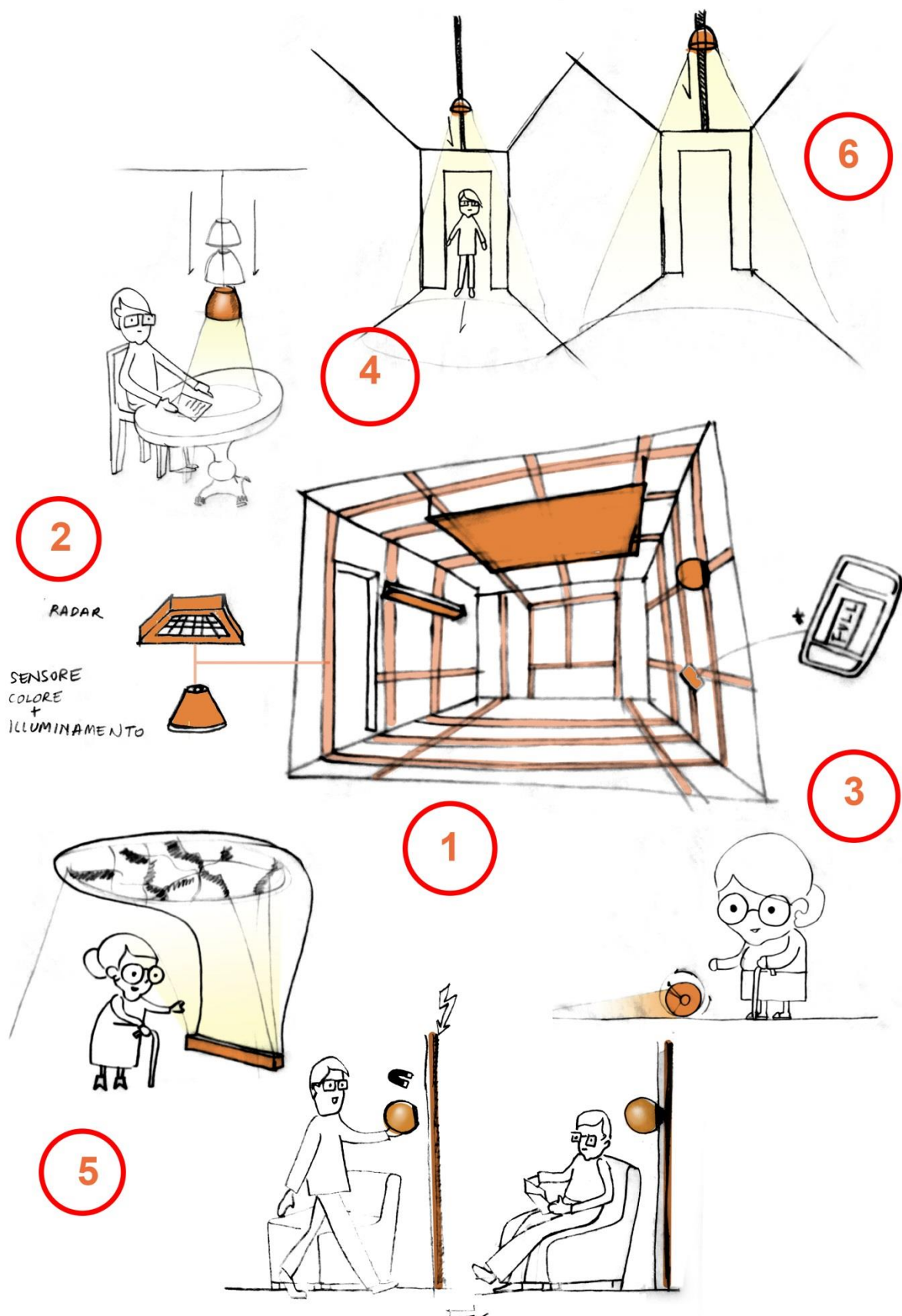
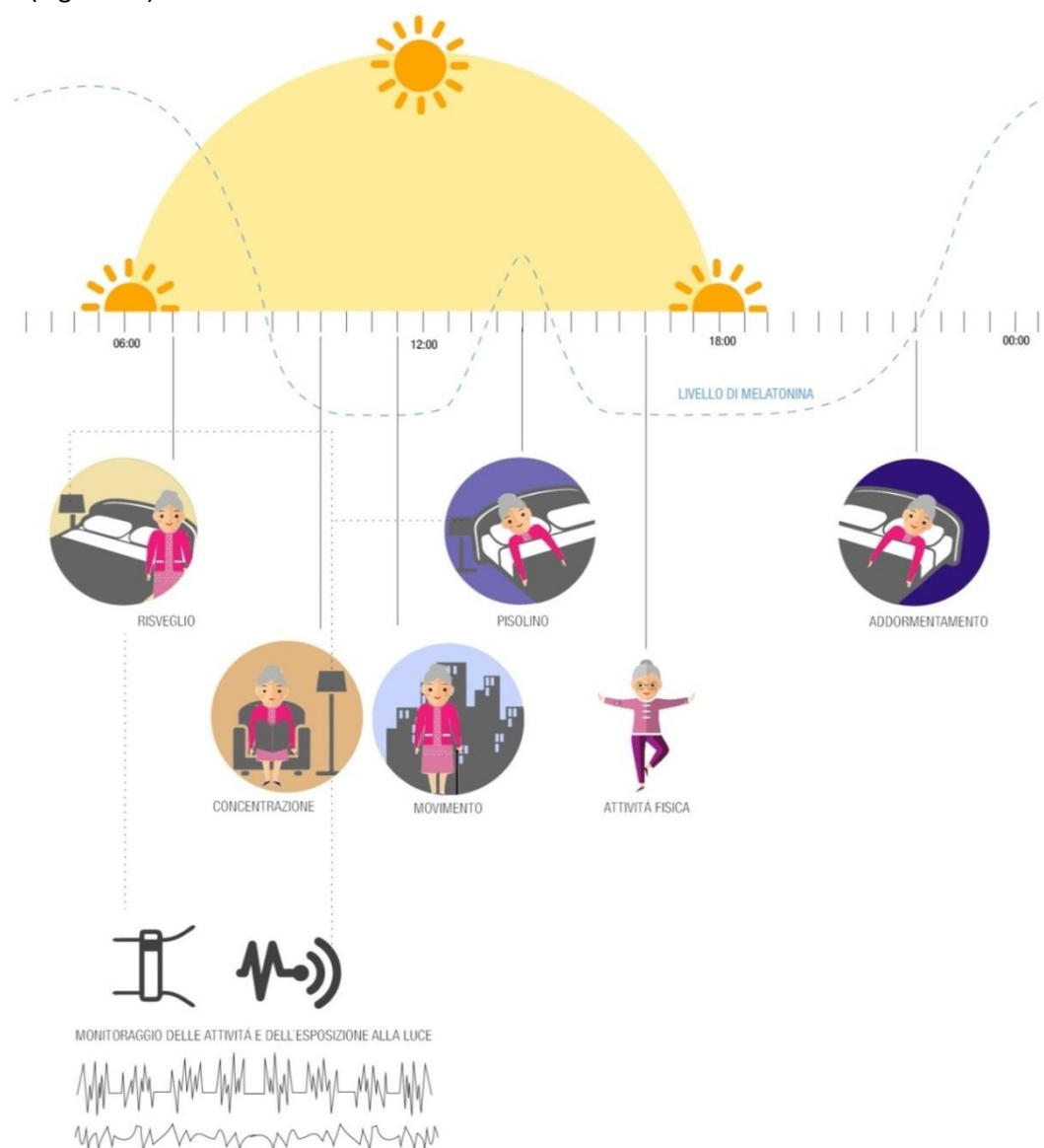


Figura 89 – Concept dello Scenario Smart StayWell Light

I motori luminosi SMART a LED saranno tutti connessi attraverso un sistema intelligente per permettere che tutti i dati relativi ai singoli apparecchi e all'individuo che abita la casa confluiscono in un'unica rete di trasporto elettricità e dati (cfr. Scenario 4: Active light). Le informazioni relative al sistema di sensori locali domestici intelligenti (PIR, sensori integrati di luminosità, sensori radar, sensori di cromaticità e di illuminamento), sensori globali (ovvero che sfruttano la connessione ad internet ed estrarrebbero informazioni dal cloud) e sensori individuali (indossabili) vengono integrate ad informare il sistema di illuminazione in maniera adattiva.

### 10.2.3.1 StayWell Lighting

Tutti i motori luminosi SMART a LED sono calibrati per eseguire un'illuminazione bioadattiva che regoli l'orologio biologico degli utenti e che si regolino in base alle loro attività. Il sistema è in grado di imparare le abitudini dell'utente e, attraverso algoritmi predittivi, regolare l'illuminazione in maniera da assecondare le abitudini oppure al fine di modificare il comportamento per renderlo più virtuoso o per migliorare il benessere (Figura 90).



**Figura 90 – Sistema integrato di illuminazione bioadattiva personalizzata in base alle attività e alle caratteristiche degli utenti tramite sensori ambientali ed indossabili e algoritmi predittivi**

### 10.2.3.2 Plug and play light (1 + 2)

L'impianto elettrico a bassissima tensione (24V) e di trasporto di dati/segnale è integrato alle pareti: si tratta di una matrice invisibile a cui sia possibile agganciare in maniera meccanica o magnetica gli apparecchi di illuminazione che quindi automaticamente vengono alimentati. La flessibilità consiste nel posizionamento libero e semplificato di questi sistemi di illuminazione e dunque la possibilità di avere molteplici punti luce per illuminazione indiretta, perimetrale e task. Sulla stessa matrice elettrica e di segnale vengono installati sensori intelligenti in grado di comunicare con gli apparecchi e con il sistema integrato per monitorare, comandare e archiviare le informazioni.

### 10.2.3.3 Follow me light (3 + 4 + 6)

Alcuni apparecchi di illuminazione avranno capacità, funzioni e un'intelligenza superiore e saranno in grado di muoversi nello spazio, di seguire gli utenti, di modificare l'illuminazione in base alle specifiche esigenze, orari e attività. Sono provvisti di motori integrati, di sensori e di sistemi di illuminazione e/o proiettori per fornire informazioni all'utente e instaurare un dialogo con lo stesso: si muovono nei percorsi e si abbassano verso il piano di lavoro seguendo i movimenti e le gestualità dell'individuo, interpretandone i micromovimenti. Un esempio è un sistema di illuminazione che si muove autonomamente nello spazio, ricaricandosi grazie all'energia solare e attendendo di dover essere utilizzato dall'utente: illumina i percorsi, soprattutto notturni fornendo la giusta quantità di luce e la corretta distribuzione spettrale. Estremamente "fedele" ed empatico, l'apparecchio modifica l'illuminazione in base alle esigenze momentanee: se si accorge che l'utente fatica a camminare e ha un andamento claudicante aumenta la quantità di luce e informa l'utente di prestare attenzione al percorso. (Figura 91)

Un altro sistema di illuminazione per la concentrazione, modifica l'illuminazione in base ai movimenti delle mani dei soggetti e delle espressioni facciali, riconoscendo che tipo di attività si sta facendo e l'espressività.

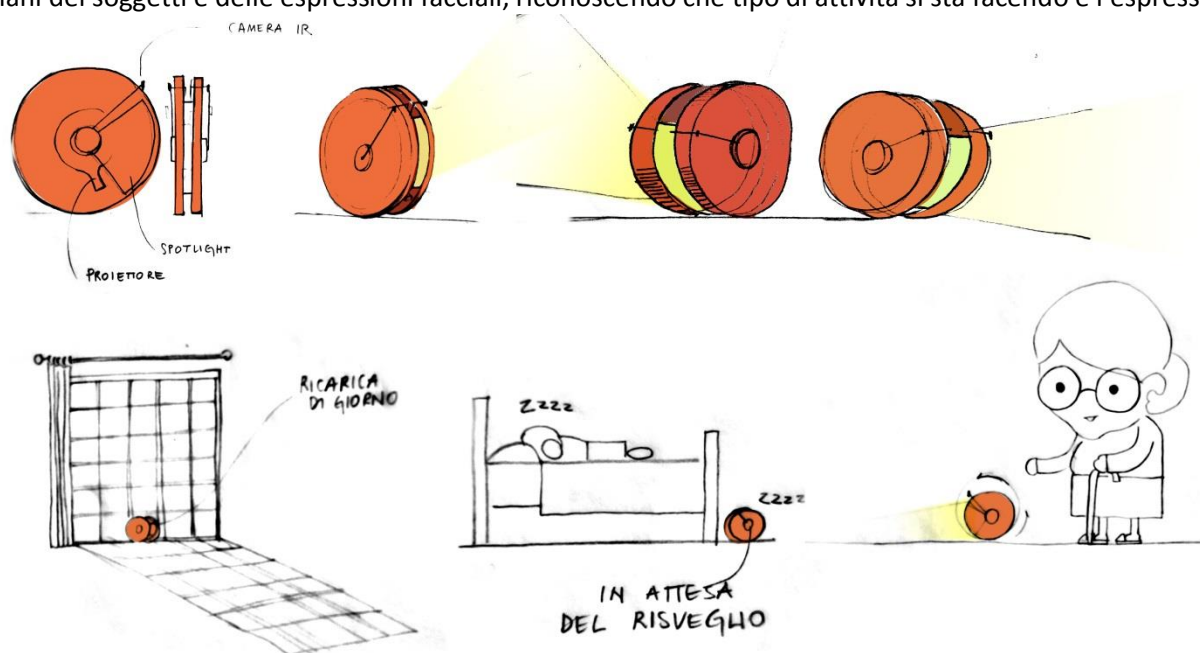


Figura 91 – Concept Follow me light

### 10.2.3.4 Canopy of lighting (5)

Un sistema di illuminazione indiretta spostabile e utile per realizzare una "doccia" di illuminazione rilassante o attivante oppure vitaminica in base alla necessità. Il sistema permette la proiezione di luce simile a quella naturale sia per temperatura di colore che per dinamica e modulazione ritmica di luce e ombra.



### 10.3 Scenario 3: Make your NegaJoule Light

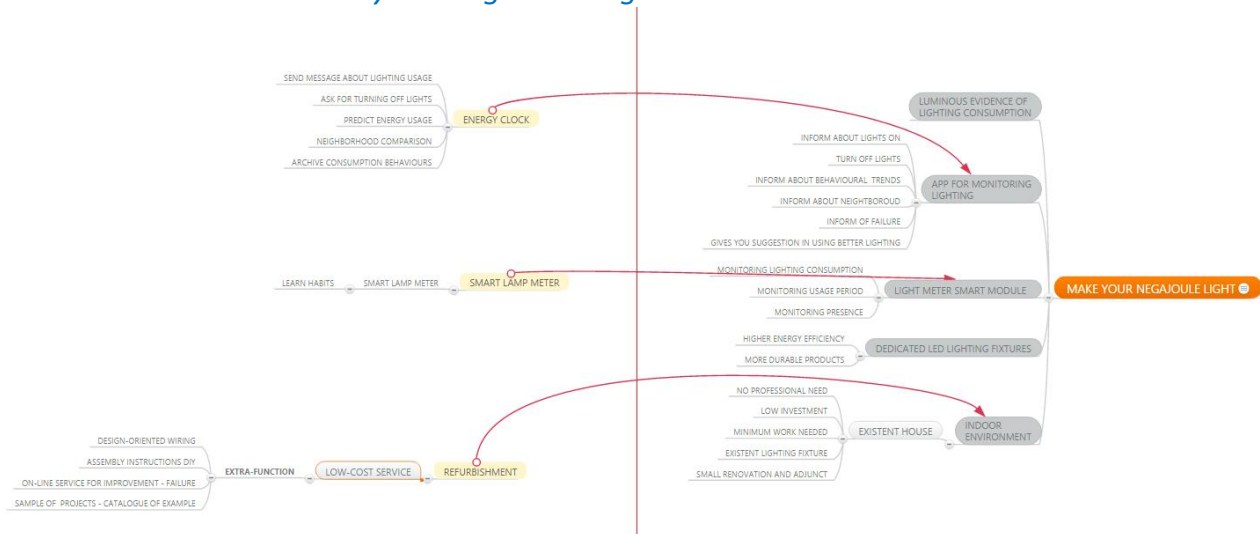


Figura 92 – Scenario 3 Make you NegaJoule Light

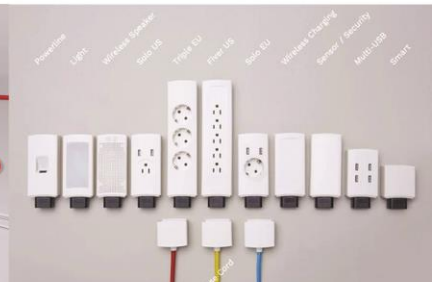
#### 10.3.1 Parole chiave

Orologio energetico, smart lamp meter, sensori bassa risoluzione, efficientamento

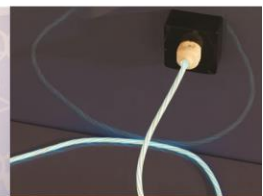
#### 10.3.2 Descrizione

Lo scenario Make your NegaJoule Light è caratterizzato da una trasformazione incrementale della situazione odierna che vuole una progressione verso sistemi di illuminazione più efficienti. In particolare, lo scenario prevede bassi investimenti volti ad ottenere una sostenibilità energetica mediante sistemi di illuminazione più efficienti (considerando le sorgenti ma anche i sistemi di gestione) e incentivando i comportamenti sostenibili degli utenti. Lo scenario si sviluppa a partire dai seguenti trend e indicazioni:

- Le lampadine a LED sembrano essere la soluzione più sostenibile energeticamente se comparate ad altre tecnologie: altrettanto non si può dire per le lampadine a LED SMART il cui consumo aumenta per via dei controlli e sistemi di gestione. Nonostante questi sistemi di illuminazione non siano comparabili da un punto di vista delle performance di illuminazione, non si può dire che siano una garanzia di maggiore efficienza del sistema di illuminazione nel suo complesso.
- Il consumo energetico domestico ad oggi viene visualizzato dall'utente soltanto nel momento della ricezione della bolletta elettrica: sebbene la lettura dei dati sia stata resa più trasparente, questo sistema non lo aiuta a comprendere come ridurre i consumi e come adottare comportamenti meno energivori. Diversamente esistono delle sperimentazioni che chiariscono all'utente informazioni energetiche durante l'uso degli elettrodomestici sia in forma visiva sugli oggetti stessi sia attraverso applicazioni del telefono. In questo modo l'utente viene informato in real-time del suo consumo energetico e può procedere ad adottare comportamenti più sostenibili. (Figura 93)
- La disponibilità energetica è una ulteriore informazione ad oggi completamente nascosta all'utente: non ha possibilità di sapere quando sia possibile effettuare attività energivore a minor costo perché c'è maggiore disponibilità energetica. Alcuni progetti e prototipi hanno approfondito questo tema al fine di informare l'utente ad un consumo energetico consapevole.
- Le lampade intelligenti sono modificate tramite un applicazione del telefono: ad oggi poche sono le applicazioni che permettono di registrare i dati di consumo specifico e di monitorare le specifiche condizioni di illuminazione del singolo apparecchio. Interessante sarebbe ottenere dei trend di consumo giornaliero, settimanale e mensile per poter comprendere quali sono le abitudini di utilizzo degli apparecchi in relazione al consumo.



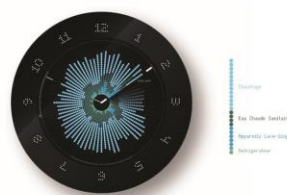
THE AWARE PROJECT  
<https://www.tii.se/projects/aware>



## ACTIVE HOUSE IN THE SUSTAINABLE CITY



STATIC!  
<http://dru.tii.se/static/>



93

### 10.3.3 Concept

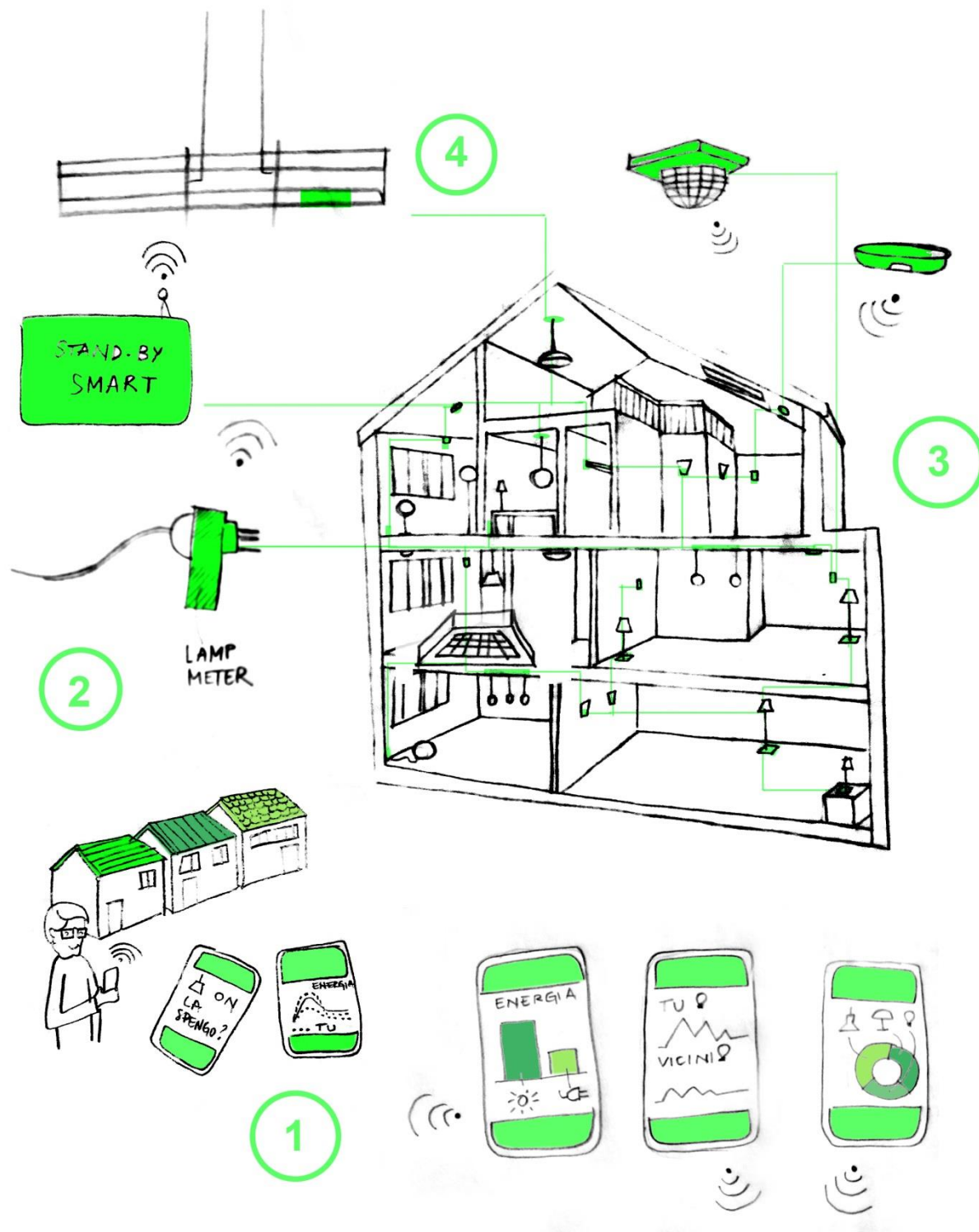


Figura 94 – Concept di Scenario 3 Make your NegaJoule Light

#### 10.3.3.1 Negajoule App e System (1 + 2 + 3 + 4)

Finalizzata a monitorare il consumo energetico domestico relativo ai sistemi di illuminazione domestica, Negajoule App riceve e organizza le informazioni direttamente dal sistema domestico che connette i sensori a bassa risoluzione (presenza e luce diurna) agli apparecchi di illuminazione su cui sono stati inseriti

moduli di intelligenza on-board e gli apparecchi di illuminazione tradizionali attraverso uno Smart Lamp Meter. Le informazioni rilevate relative ai settaggi di illuminazione, al momento e alla durata di utilizzo e il consumo relativo ai singoli dispositivi sono archiviate al fine di informare l'utente sui propri comportamenti e abitudini energetiche a livello giornaliero, settimanale e mensile. Tali feedback indiretti focalizzati sull'illuminazione domestica possono rivelarsi estremamente utili sia per quantificare i propri consumi sia per comprendere se ci siano dei sistemi di illuminazione più energivori rispetto ad altri.

Inoltre Negajoule App, attingendo alla rete, compara il comportamento del soggetto con quelli dei propri vicini e/o amici, inviando dei feedback di comparazione e quindi generando una "virtuosa" competizione verso una maggiore sostenibilità.

Il sistema di illuminazione prevede l'utilizzo di apparecchi più efficienti come ad esempio LEDinaire (6 - 5) e di sistemi di controllo e gestione con consumi ridotti (smart stand-by).

#### 10.4 Scenario 4: Active light

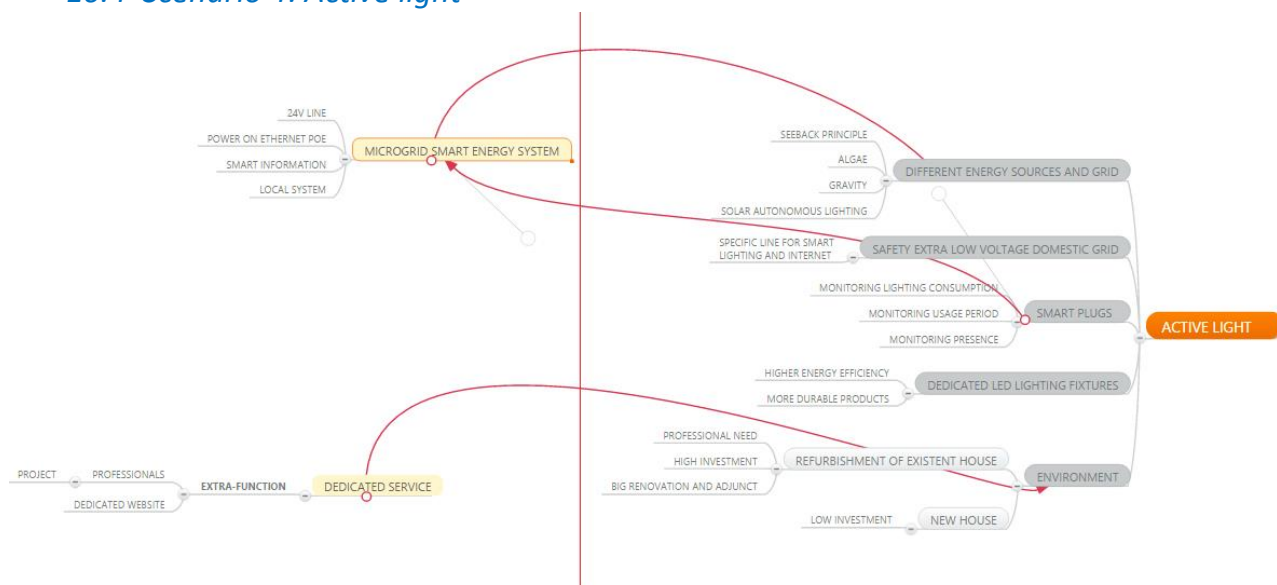


Figura 95 - Scenario 4 Active Light

##### 10.4.1 Parole chiave

Bassissima tensione di sicurezza, micro-grid, energie alternative, trasporto energia e trasporto dati, flessibilità

##### 10.4.2 Descrizione

Lo scenario Active Light è caratterizzato da una trasformazione radicale del modo in cui viene approvvigionata e gestita l'elettricità per il domestico. In particolare, attraverso una rivoluzione tecnologica, viene rivalutata l'idea di Tesla di utilizzare una linea a bassissima tensione di sicurezza (24V) per l'illuminazione a LED e per i piccoli elettrodomestici e quindi evitare perdite di efficienza e limitare i componenti utilizzati (alimentatore). Lo scenario propone dunque un nuovo sistema di gestione e cablaggio dell'energia elettrica domestica che viene approvvigionata in loco creando una micro-grid virtuosa di energia prodotta localmente (prevalentemente solare). Tramite investimenti elevati e una trasformazione del modo in cui vengono realizzati gli impianti, il cablaggio che trasporta l'energia elettrica diventa anche un supporto per il trasporto di dati, riducendo notevolmente la complessità di connessione di sistemi attuatori (luci) e sensori. La griglia ottenuta, viene tracciata sulle pareti perimetrali della casa e potrebbe permettere direttamente l'alloggiamento magnetico o meccanico di dispositivi di illuminazione e di sensori, nonché la ricarica diretta di tutti i dispositivi che lo necessitano. Lo scenario si sviluppa a partire dai seguenti trend e indicazioni:

- Numerosi esperimenti si focalizzano sulla generazione di illuminazione a partire da fonti alternative: solare, eolico, mediante la gravità o bioluminescenza, mediante alghe, per effetto seebeck etc. Tutti questi sistemi si configurano sostanzialmente in: soluzioni che provano a liberarsi dell'idea di spina e presa sfruttando forme di produzione di energia ad oggi di nicchia; soluzioni di parassitaggio



dell'illuminazione naturale; soluzioni utilizzate in condizioni di emergenza o in ambienti con limitata o inesistente connessione elettrica (Figura 96).

- I sistemi a LED funzionano a bassissima tensione e sono oggi caratterizzati da voluminosi, ausiliari elettrici (che ne diminuiscono l'efficienza) per poter funzionare a 230V AC.



**Figura 96 – Moodboard – Sistemi di parassitismo o di sussistenza energetica**

### 10.4.3 Concept

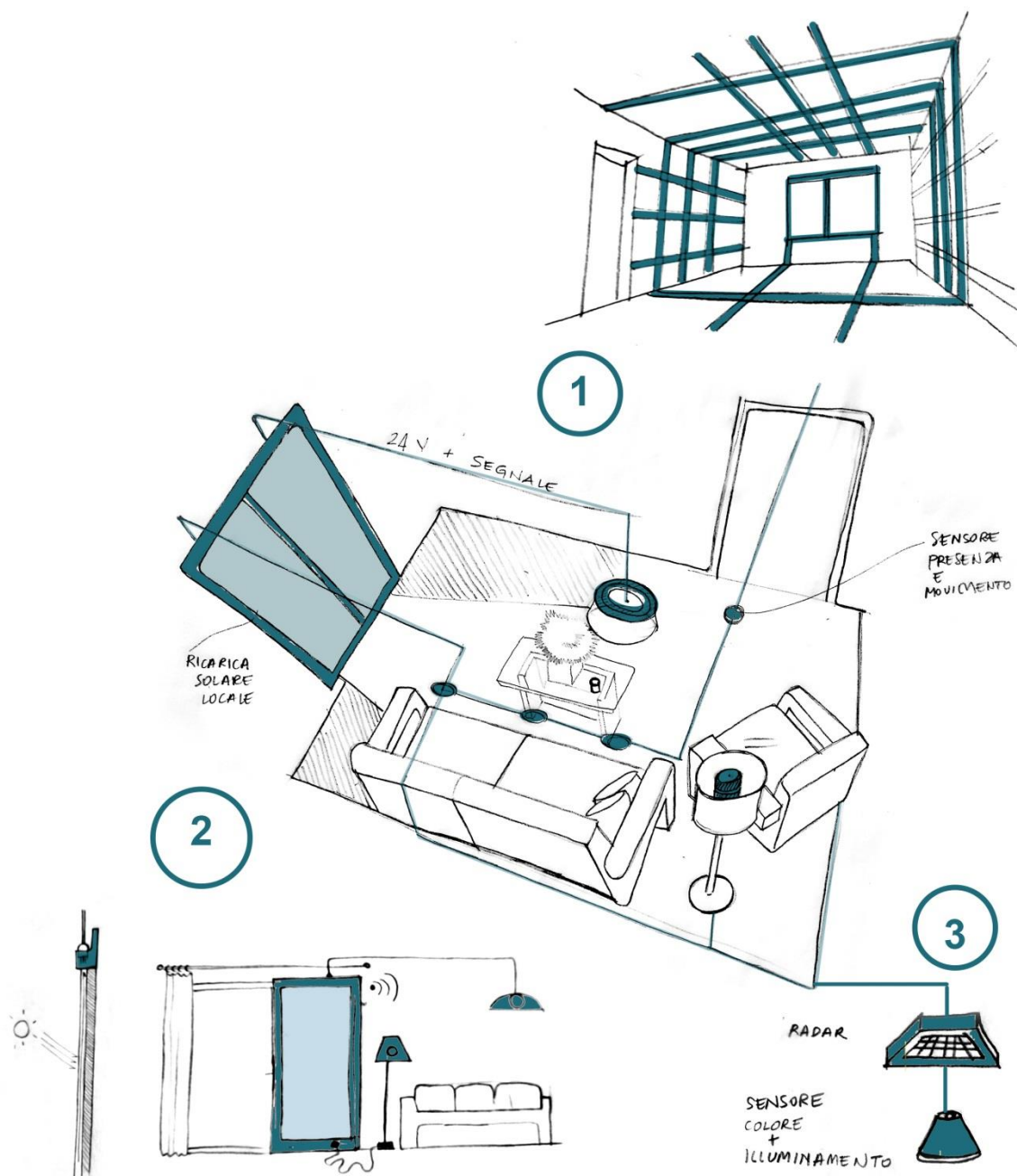


Figura 97 – Concept Active Light

#### 10.4.3.1 Smart Micro Grid (1 + 2 + 3)

Consiste in un nuovo sistema di erogazione e gestione dell'energia elettrica per l'illuminazione: si tratta di una griglia intelligente che viene integrata nelle pareti domestiche, in maniera più o meno fitta in relazione agli spazi in maniera da gestire la connessione, l'illuminazione, il monitoraggio e la ricarica in maniera più libera e flessibile. Una rete di connessione a 24V in grado di trasportare sia l'energia elettrica sia le informazioni di segnale rilevate dai vari sensori inseriti nell'ambiente (sensori pir, sensori radar, sensori di illuminamento, sensori di cromaticità, etc) e quindi di essere attiva e adattiva. La griglia di connessione consente di inserire gli apparecchi di illuminazione e i sensori in maniera flessibile, laddove si necessita con

operazioni meccaniche o magnetiche. La connessione è reversibile senza lasciare traccia. Zone dedicate potrebbero essere utilizzate per la ricarica a contatto dei singoli dispositivi e un'intelligenza integrata della griglia potrebbe disconnettere l'erogazione di energia nel momento in cui il dispositivo è completamente carico oppure non c'è necessità effettiva di utilizzare energia in quel momento specifico.

La Smart Micro Grid agisce localmente, derivando l'energia da sistemi di concentrazione solare localizzati sulla membrana esterna dell'edificio o sfruttando le superfici vetrate<sup>87</sup> delle finestre. Il dimensionamento di questo sistema dovrebbe essere fatto in modo da coprire il fabbisogno di un'abitazione media.

## 11 Riferenze bibliografiche

<sup>1</sup> Statistics on Energy Consumption in Households – Cristian Fetic – Eurostat – Energy Community

<sup>2</sup> RAEE (2012) Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2011 ISBN 978-88-8286-281-7

<sup>3</sup> RAEE (2012) Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2011 ISBN 978-88-8286-281-7

<sup>4</sup> Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases (June 2015) <http://www.odyssee-mure.eu/publications/other/>

<sup>5</sup> Quaderno, 2011 L'EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE CIVILE ENEA

<sup>6</sup> Manual for statistics on energy consumption in households Eurostat (2013) Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013 ISBN 978-92-79-33007-0 ISSN 2315-0815 doi:10.2785/45686

<sup>7</sup> Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases (June 2015) <http://www.odyssee-mure.eu/publications/other/>

<sup>8</sup> MICENE Misure dei consumi di energia elettrica nel settore domestico. Risultati delle campagne di rilevamento dei consumi elettrici presso 110 abitazioni in Italia (2004) eERG, end-use Efficiency Research Group Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano

<sup>9</sup> Project EURECO (2002) DEMAND-SIDE MANAGEMENT End-use metering campaign in 400 households of the European Community Assessment of the Potential Electricity Savings

<sup>10</sup> Manual for statistics on energy consumption in households Eurostat (2013) Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013 ISBN 978-92-79-33007-0 ISSN 2315-0815 doi:10.2785/45686

<sup>11</sup> 4E Energy Efficient End-use Equipment International Energy Agency (2014) - Mapping Document <http://www.iea-4e.org/> September 2014

<sup>12</sup> Ecodesign Preparatory Study Lot 8/9/19 Light Sources 1st Stakeholder Meeting (2015) Markets by Van Holsteijn en Kemna Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

<sup>13</sup> McKinsey&Company, Lighting the way: Perspectives on the global lighting market, Second Edition

<sup>14</sup> Lopes, M., Antunes, C., and Martins, N. (2012). Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6):4095-4104

<sup>15</sup> Bo Dahlbom Heather Greer, SenterNovem Ruud Jonkers, (2009) Changing Energy Behaviour Guidelines for Behavioural Change Programmes, IDAE

<sup>16</sup> Mari Martiskainen (2007) Affecting consumer behaviour on energy demand, Sussex Energy Group SPRU - Science and Technology Policy Research University of Sussex Brighton, East Sussex BN1 9QE

<sup>17</sup> RAEE (2015) Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2014 ISBN 978 88 8286 317 3

<sup>18</sup> Overview of Residential Energy Feedback and Behavior-based Energy Efficiency (February 2011) Energy and Environmental Economics, Inc

<sup>19</sup> OECD (2011) THE FUTURE OF FAMILIES TO 2030 PROJECTIONS, POLICY CHALLENGES AND POLICY OPTIONS A Synthesis Report

<sup>20</sup> OECD (2011) THE FUTURE OF FAMILIES TO 2030 PROJECTIONS, POLICY CHALLENGES AND POLICY OPTIONS A Synthesis Report

<sup>21</sup> OECD (2011) THE FUTURE OF FAMILIES TO 2030 PROJECTIONS, POLICY CHALLENGES AND POLICY OPTIONS A Synthesis Report

<sup>22</sup> James Brodrick, Unlocking the Full Potential of Indoor Systems. A source that is controllable for light output, CCT and chromaticity is the promise of SSL, LD+A June 2015 [www.ies.org](http://www.ies.org)

<sup>23</sup> Aarts, E.; Marzano, S. The New Everyday: Views on Ambient Intelligence; Uitgeverij 010 Publishers: Rotterdam, The Netherlands, 2003.



- <sup>24</sup> Stefanov, D.H.; Bien, Z.; Bang, W.-C. The smart house for older persons and persons with physical disabilities: Structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2004, 12, 228–250.
- <sup>25</sup> Blaschke, C.M.; Freddolino, P.P.; Mullen, E.E. Ageing and technology: A review of the research literature. *Br. J. Soc. Work* 2009, 39, 641–656.
- <sup>26</sup> Quynh Lê, Hoang Boi Nguyen and Tony Barnett, *Smart Homes for Older People: Positive Aging in a Digital World*, *Future Internet* 2012, 4, 607-617; doi:10.3390/fi4020607
- <sup>27</sup> R. Eckl and A. MacWilliams, “Smart Home Challenges and Approaches to Solve Them: A Practical Industrial Perspective,” *Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing*, Springer-Verlag, 2009, pp. 119–130.
- <sup>28</sup> A. Brush et al., “Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities,” *ACM CHI*, 2011, pp. 2115–2124.
- <sup>29</sup> A. Brush et al., “Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities,” *ACM CHI*, 2011, pp. 2115–2124.
- <sup>30</sup> A. Brush et al., “Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities,” *ACM CHI*, 2011, pp. 2115–2124.
- <sup>31</sup> D. Woods, “Decomposing Automation: Apparent Simplicity, Real Complexity,” *Automation and Human Performance: Theory and Applications*, CRC Press, 1996, pp. 3–17.
- <sup>32</sup> A. Brush et al., “Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities,” *ACM CHI*, 2011, pp. 2115–2124.
- <sup>33</sup> A. Brush et al., “Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities,” *ACM CHI*, 2011, pp. 2115–2124.
- <sup>34</sup> Barlow J, Venables T (2004) Will technological innovation create the true lifetime home? *Housing Studies* 19: 795–810.
- <sup>35</sup> Meg E. Morris, Brooke Adair, Kimberly Miller, Elizabeth Ozanne, Ralph Hansen, Alan J. Pearce, Nick Santamaria, Luan Viegas, *Smart-Home Technologies to Assist Older People to Live Well at Home*, *Journal of Aging Science*, Volume 1, Issue 1 1000101
- <sup>36</sup> Tomita MR, Mann WC, Stanton K, Tomita AD, Vidyalakshmi S (2007) Use of currently available smart home technology by frail elders: process and outcomes. *Top Geriatr Rehabil* 23: 24-34.
- <sup>37</sup> Beckwith R (2003) Designing for ubiquity: the perception of privacy. *IEEE Pervasive Computing* 2: 40-46.
- <sup>38</sup> Boll S, Heusten W, Meyer EM, Meis M (2010) Development of a multimodal reminder system for older persons in their residential home. *Inform Health Soc Care*. 35: 104-124.
- <sup>39</sup> Carabalona R, Grossi F, Tessadri A, Castiglioni P, Caracciolo A, et al. (2012) Light on! Real world evaluation of a P300-based brain-computer interface (BCI) for environment control in a smart home. *Ergonomics* 55: 552-563.
- <sup>40</sup> Courtney KL (2008) Privacy and senior willingness to adopt smart home information technology in residential care facilities. *Methods Inf Med* 47: 76-81.
- <sup>41</sup> Courtney KL, Demiris G, Rantz M, Skubic M (2008) Needing smart home technologies: the perspectives of older adults in continuing care retirement communities. *Inform Prim Care* 16: 195-201.
- <sup>42</sup> Craig A, Moses P, Tran Y, McIsaac P, Kirkup L (2002) The effectiveness of a hands-free environmental control system for the profoundly disabled, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 83: 1455-1458.
- <sup>43</sup> Davenport RD (2007) Pilot live-in trial at the GatorTech smarthouse. *Top Geriatr Rehabil* 23: 73-84
- <sup>44</sup> Demiris G, Hensel BK, Skubic M, Rantz M (2008) Senior residents’ perceived need of and preferences for “smart home” sensor technologies. *Int J Technol Assess Health Care* 24: 120-124.
- <sup>45</sup> Demiris G, Oliver DP, Dickey G, Skubic M, Rantz M (2008) Findings from a participatory evaluation of a smart home application for older adults. *Technol Health Care* 16: 111-118.
- <sup>46</sup> Demiris G, Rantz M, Aud M, Marek K, Tyrer H, et al. (2004) Older adults’ attitudes towards and perceptions of “smart home” technologies: a pilot study. *Med Inform Internet Med* 29: 87-94.
- <sup>47</sup> Franco GC, Gallay F, Berenquer M, Mourrain C, Couturier P (2008) Non- invasive monitoring of the activities of daily living of elderly people at home-a pilot study of the usage of domestic appliances. *J Telemed Telecare* 14: 231-235.
- <sup>48</sup> Govercin M, Koltzsch Y, Meis M, Wegel S, Geitzelt M, et al. (2010) Defining the user requirements for wearable and optical fall prediction and fall detection devices for home use. *Inform Health Soc Care* 35: 177-187.
- <sup>49</sup> Johnson JL, Davenport R, Mann WC (2007) Consumer feedback on smart home applications. *Top in Geriatr Rehabil* 23: 60-72.
- <sup>50</sup> Judge S, Robertson Z, Hawley M, Enderby P (2009) Speech-driven environmental control systems – a qualitative analysis of users’ perceptions. *Disabil Rehabil Assist Technol* 4: 151-157.
- <sup>51</sup> Lotfi A, Langensiepen C, Mahmoud SM, Akhlaghinia MJ (2010) Smart homes for the elderly dementia sufferers: Identification and prediction of abnormal behaviour. *J Ambient Intell Humaniz Comput*.
- <sup>52</sup> Martin S, Nugent C, Wallace J, Kernohan G, McCreight B, et al. (2007) Using context awareness within the ‘Smart home’ environment to support social care for adults with dementia. *Technol Disabil* 19: 143-152.

- <sup>53</sup> Rosenberg L, Kottorp A, Nygard L (2011) Readiness for Technology Use With People With Dementia: The Perspectives of Significant Others. *Journal of Applied Gerontology* 30: 510-530.
- <sup>54</sup> Suryadevara NK, Mukhopadhyay SC (2012) Wireless sensor network based home monitoring system for wellness determination of elderly. *IEEE Sensors Journal* 12: 1965-1972.
- <sup>55</sup> Tang L, Zhou X, Yu Z, Liang Y, Zhang D, et al. (2011) MHS: A multimedia system for improving medication adherence in elderly care. *IEEE Systems Journal* 5: 506-517.
- <sup>56</sup> Van Hoof J, Kort HS, Rutten PG, Duijnste MS (2011) Ageing-in-place with the use of ambient intelligence technology: Perspectives of older users. *Int J Med Inform* 80: 310-331.
- <sup>57</sup> J. A. Kaye et al., "Intelligent systems for assessing aging changes: Homebased, unobtrusive, and continuous assessment of aging," *J. Gerontol., Psychol. Sci.*, vol. 66B, no. 1, pp. i180\_i190, 2011.
- <sup>58</sup> M. Skubic, G. Alexander, M. Popescu, M. Rantz, and J. Keller, "A smart home application to eldercare: Current status and lessons learned," *Technol. Health Care*, vol. 17, no. 3, pp. 183\_201, 2009.
- <sup>59</sup> M. Skubic, R. Dane Guevara, M. Rantz, Automated Health Alerts Using In-Home Sensor Data for Embedded Health Assessment, *Journal of Transactional Engineering in Health and Medicine*, Volume 3, 2015
- <sup>60</sup> S. Wang, M. Skubic, and Y. Zhu, "Activity density map dis-similarity comparison for eldercare monitoring," in *Proc. Annu. Int. Conf IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Minneapolis, MN, USA, Sep. 2009, pp. 72327235.
- <sup>61</sup> David Heise, Marjorie Skubic, Monitoring Pulse and Respiration with a Non-Invasive Hydraulic Bed Sensor, *Artificial Intelligence and Sustainable Design — Papers from the AAAI 2011 Spring Symposium (SS-11-02)*
- <sup>62</sup> S. Makonin, F. Popowich, An Intelligent Agent for Determining Home Occupancy Using Power Monitors and Light Sensors, B. Abdulrazak et al. (Eds.): *ICOST 2011, LNCS 6719*, pp. 236–240, 2011.
- <sup>63</sup> S. Makonin and F. Popowich, "Home Occupancy Agent: Occupancy and Sleep Detection," *GSTF J. on Computing*, vol. 2, no.1, 2012, pp. 182–186.
- <sup>64</sup> J. Veitch, "Principles of Healthy Lighting: Highlights of CIE TC 6-11's Forthcoming Report," *Final Report—The 5<sup>th</sup> Int'l LRO Lighting Research Symp.—Light and Human Health*, NRC, 2009, pp. 1–8.
- <sup>65</sup> Brinda A. Thomas, Ines L. Azevedo, Granger Morgan, Edison Revisited: Should we use DC circuits for lighting in commercial buildings? *Energy Policy* 45(2012)399–411
- <sup>66</sup> A. Makdessian, "The Bright New Outlook for LEDs: New Drivers, New Possibilities," *Maxim Integrated White Paper*
- <sup>67</sup> A. Makdessian, "The Bright New Outlook for LEDs: New Drivers, New Possibilities," *Maxim Integrated White Paper*
- <sup>68</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Power\\_over\\_Ethernet](https://it.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet)
- <sup>69</sup> Rea, M.S., and Ouellette, M. (1991) "Relative Visual Performance: A Basis for Application." *Lighting Res. & Technology*, 23(3): 135.
- <sup>70</sup> Okajima, Iwata "Simulation of Light Efficiency for Aged People and Data-Analysis of an Optimal Illuminance with Aging Models of the Human Lens", *Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan* Vol. 82 (1998) No. 8 P 564-572
- <sup>71</sup> CIE (1976) International Commission on Illumination Publication 31:1976, Glare and uniformity in road lighting installations, CIE, Vienna
- <sup>72</sup> Elif Tural, Mehmedalp Tural, Luminance contrast analyses for low vision in a senior living facility: A proposal for an HDR image-based analysis tool, *Building and Environment* 81 (2014) 20-28
- <sup>73</sup> Christian Cajochen, lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities, *Accelerate SSL Innovation for Europe*, Deliverable 3.2 and 3.4
- <sup>74</sup> Christian Cajochen, lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities, *Accelerate SSL Innovation for Europe*, Deliverable 3.2 and 3.4
- <sup>75</sup> Chang AM, Scheer FA, Czeisler CA, Aeschbach D. Direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans depend on prior light history. *Sleep*. 2013;36(8):1239-46.
- <sup>76</sup> Christian Cajochen, lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities, *Accelerate SSL Innovation for Europe*, Deliverable 3.2 and 3.4
- <sup>77</sup> Giménez MC, Hessels M, van de Werken M, de Vries B, Beersma DG, Gordijn MC. Effects of artificial dawn on subjective ratings of sleep inertia and dim light melatonin onset. *Chronobiol Int*. 2010 Jul;27(6):1219-41. doi: 10.3109/07420528.2010.496912.
- <sup>78</sup> Van De Werken, M., Giménez, M.C., De Vries, B., Beersma, D.G., Van Someren, E.J., & Gordijn M.C, Effects of artificial dawn on sleep inertia, skin temperature, and the awakening cortisol response., *J Sleep Res*. 2010 Sep;19(3):425-35. doi: 10.1111/j.1365-2869.2010.00828.x.
- <sup>79</sup> Marina C. Giménez, Martijn Hessels, Maan van de Werken, Bonnie de Vries, Domien G. M. Beersma, and Marijke C. M. Gordijn, Effects of artificial Dawn on subjective ratings of sleep inertia and dim light melatonin onset, *Chronobiology International*, 27(6): 1219–1241, (2010)

---

<sup>80</sup> Birgit Sander, Jakob Markvart, Line Kessel, Aikaterini Argyraki & Kjeld Johnsen (2015) Can sleep quality and wellbeing be improved by changing the indoor lighting in the homes of healthy, elderly citizens?, *Chronobiology International*, 32:8, 1049-1060, DOI: 10.3109/07420528.2015.1056304

<sup>81</sup> Helen J. Burgess, Thomas A. Molina, Home Lighting Before Usual Bedtime Impacts Circadian Timing: A Field Study, *Photochem Photobiol.* 2014 ; 90(3): 723–726.

<sup>82</sup> Cajochen C, Frey S, Anders D, Spati J, Bues M, Pross A, et al. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*. 2011 May;110(5):1432-8.

<sup>83</sup> Christian Cajochen, Sylvia Frey, Doreen Anders, Jakub Späti, Matthias Bues, Achim Pross, Ralph Mager, Anna Wirz-Justice and Oliver Stefani, Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance, *Journal of Applied Physiology* Published 1 May 2011 Vol. 110 no. 5, 1432-1438 DOI: 10.1152/jappphysiol.00165.2011

<sup>84</sup> Rosson, M.B. and Carroll, J.M. (2002) *Usability Engineering: Scenario-based Development of Human- Computer Interaction*. London: Academic Press.

<sup>85</sup> Carroll, J.M (1995) Introduction: The Scenario Perspective on System Development. In J.M. Carroll (ed.) *Scenario-Based Design: Envisioning work and Technology in System Development* New York: Wiley

<sup>86</sup> Carroll, J.M. (1999) Five Reasons For Scenario-based Design. *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences* - 1999.

<sup>87</sup> Yimu Zhao, Garrett A. Meek, Benjamin G. Levine and Richard R. Lunt, (2014) Light Harvesting: Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators (*Advanced Optical Materials* 7/2014) *Advanced Optical Materials* - Volume 2, Issue 7, page 599, July 2014 - DOI: 10.1002/adom.201470040