

Definizione di benchmark illuminotecnici basati sulla valutazione del LENI delle nove tipologie edilizie: risultati delle simulazioni effettuate

Laura Pompei, PhD, Ricercatore (RTD-A)

presso il dip. del DIAEE, Università di Roma la Sapienza

Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



INTRODUZIONE

- È noto che il **15%-20% del consumo elettrico mondiale** è imputabile all'illuminazione del parco immobiliare esistente.
- Molte **linee guida e strumenti normativi** sono stati emanati per contenere e ridurre tale richiesta energetica, tra cui la **UNI EN 15193 - 1:2017 e suoi aggiornamenti** che stabiliscono il metodo di calcolo per valutare l'energia necessaria per l'illuminazione artificiale degli edifici. L'indicatore energetico proposto dalla norma è il LENI (Lighting Energy Numeric Indicator).
- Pochi studi hanno applicato lo standard, i più noti si sono focalizzati sul calcolo LENI e del Daylight Factor utilizzando alcuni programmi quali DAYSIM e RADIANCE, mentre altri indagano le potenzialità dei controlli degli impianti di illuminazione proposti dalla normativa, per ottenere un maggiore risparmio energetico.



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

INTRODUZIONE

- In letteratura vi è una **grande diversità di software di calcolo** utilizzati per la simulazione dell'illuminazione negli edifici. Tuttavia, la maggior parte di questi software richiedono una rappresentazione troppo dettagliata del test ambientale e di tempi lunghi per i calcoli per ogni simulazione.
- La maggior parte delle **valutazioni del comfort e dell'illuminazione indoor** è stata effettuata solamente per alcune destinazioni d'uso, quali gli uffici, gli edifici residenziali e commerciali.
- Risulta quindi importante estendere **tali studi anche sulle altre destinazioni d'uso presenti nel territorio, legate alle strutture ricettive, ai servizi sanitari ed ai complessi sportivi**. Tali edifici, inoltre, sono anche individuati dalla UNI EN 15193-1:2017, sottolineando il loro rilevante impatto sull'intero consumo di illuminazione dei contesti attuali urbani.



Con la partecipazione di:



OBIETTIVO DEL PROGETTO

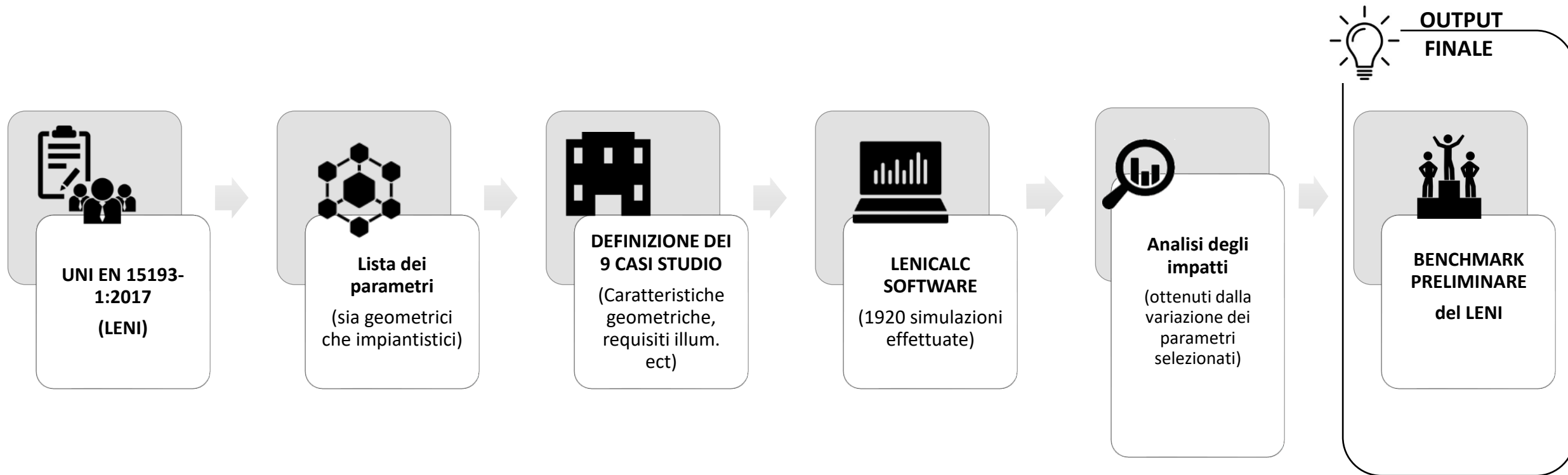
- ✓ **IDENTIFICARE** le caratteristiche geometriche e i requisiti di illuminazione delle nove destinazioni d'uso elencate nella UNI EN 15193-1:2017.
- ✓ **DEFINIRE** i nove casi studio; sono state seguite e combinate due modalità di approccio; laddove vi era disponibilità di dati, sono stati raccolti quelli relativi alle caratteristiche italiane più comuni (superfici, volumi, finestre e così via); in mancanza di tali informazioni, il caso studio è stato elaborato in linea con gli standard minimi imposti dal comparto legislativo italiano.
- ✓ **SELEZIONARE** una serie di parametri, per valutare la loro influenza sul LENI complessivo dei nove edifici tipizzati. Tali parametri riguardano l'involucro dell'edificio e le soluzioni impiantistiche. L'applicazione dei parametri scelti (e delle loro varianti) sulle nove destinazioni d'uso definite ha permesso la realizzazione di un database contenente 1920 simulazioni, definite con il software LENICALC.
- ✓ **ELABORARE** un benchmark globale per l'illuminazione basato sullo standard.



Con la partecipazione di:



FLUSSO DI LAVORO DEL PROGETTO

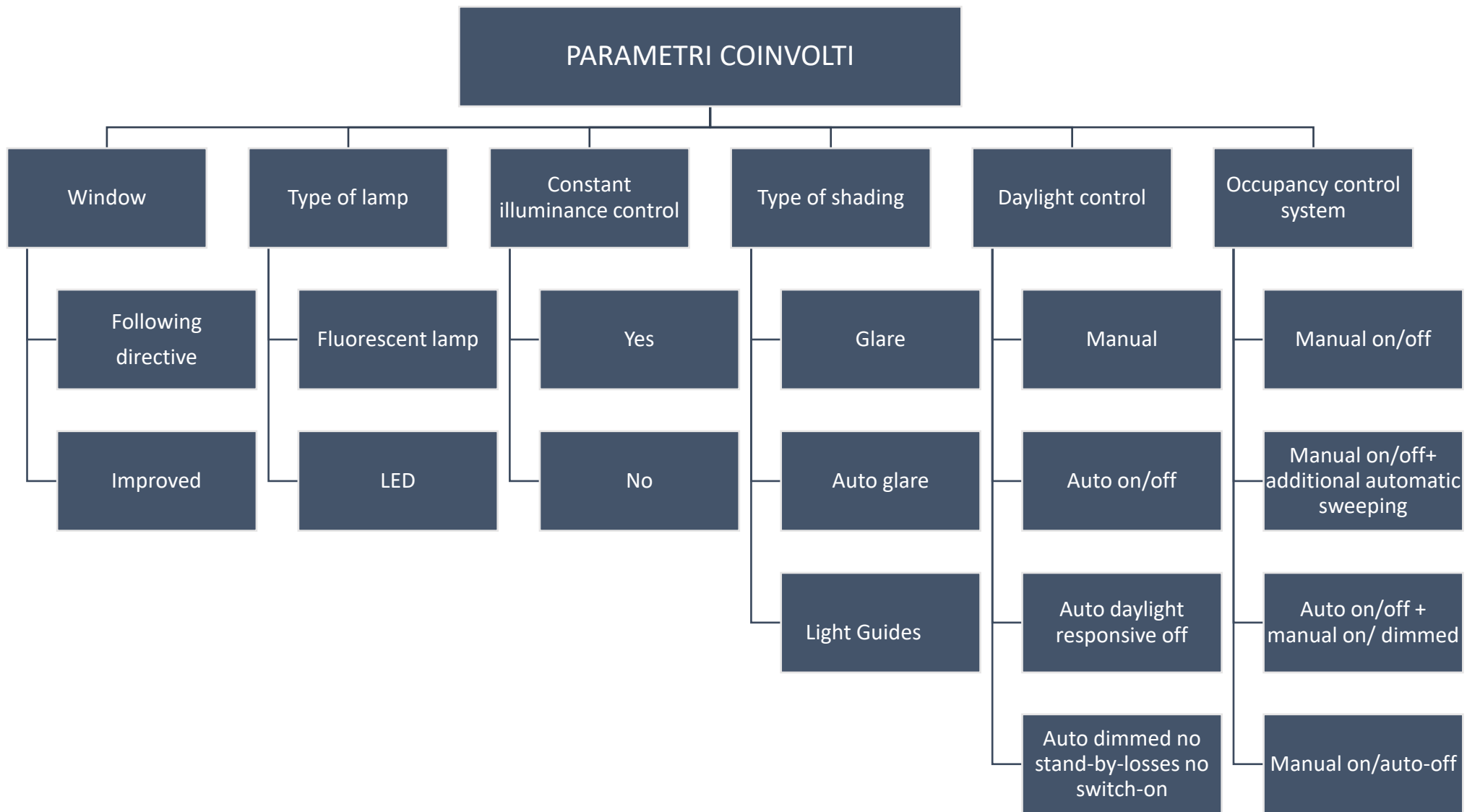


Con la partecipazione di:



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA UNI EN 15193, MEDIANTE LENICALC

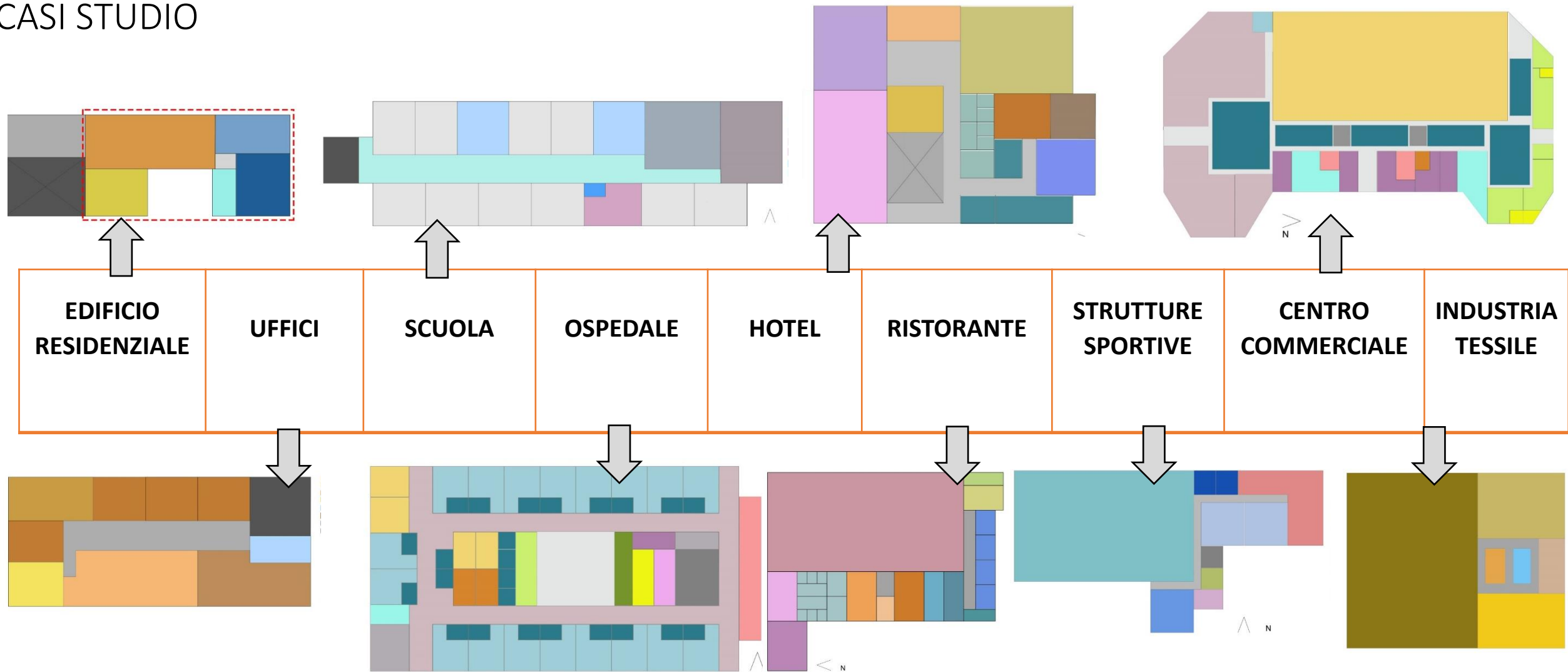
03 giugno 2024



Con la partecipazione di:



CASI STUDIO



Con la partecipazione di:



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024

CASI STUDIO

Tipo di edificio	area (m ²)	N°dei piani	Altezza interpiano (m)	R.a.i.	Illuminamento minimo (Lux)	Tipo di finestra
Edificio residenziale	720	4	2,7	1/8	100-200	Standard
Ufficio	870	3	3,5	1/10	200-500	vetratura a nastro
Scuola	2400	2	3,5	1/6	200-500	Standard / vetratura a nastro
Ospedale	7800	5	3,75	1/8	100-10000	Standard / vetratura a nastro
Hotel	980	4	3,75	1/8	150-500	Standard / vetratura a nastro
Ristorante	380	1	3	1/10	150-500	vetratura a nastro
Strutture sportive	1140	2	5	1/8	150-500	vetratura a nastro
Centro commerciale	60600	3	3	n.d.	100-750	Atri vetrati coperti
Industria tessile	2000	1	6	1/12	100-750	Skylight/ vetratura a nastro/Shed



Con la partecipazione di:



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024

Tipo di edificio	Variazione delle dimensioni della finestra (rai)	Tipo di sorgente		Tipo di schermatura			F _c	Lighting control systems (daylight responsive control system and control system)
		Fluorescente	LED	Glare	Autoglare	Light guides		
Edificio residenziale	1/4	✓	✓	✓	✓	-	-	✓
Ufficio	1/5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scuola	Modificata la posizione/esposizione	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
Ospedale	1/5	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
Hotel	1/5	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
Ristorante	1/5	✓	✓	✓	✓	-	-	✓
Strutture sportive	1/5	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
Centro commerciale	+25% dell'area finestrata	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
Industria tessile	+ 25% dell'area finestrata	✓	✓	-	-	-	✓	✓



Con la partecipazione di:

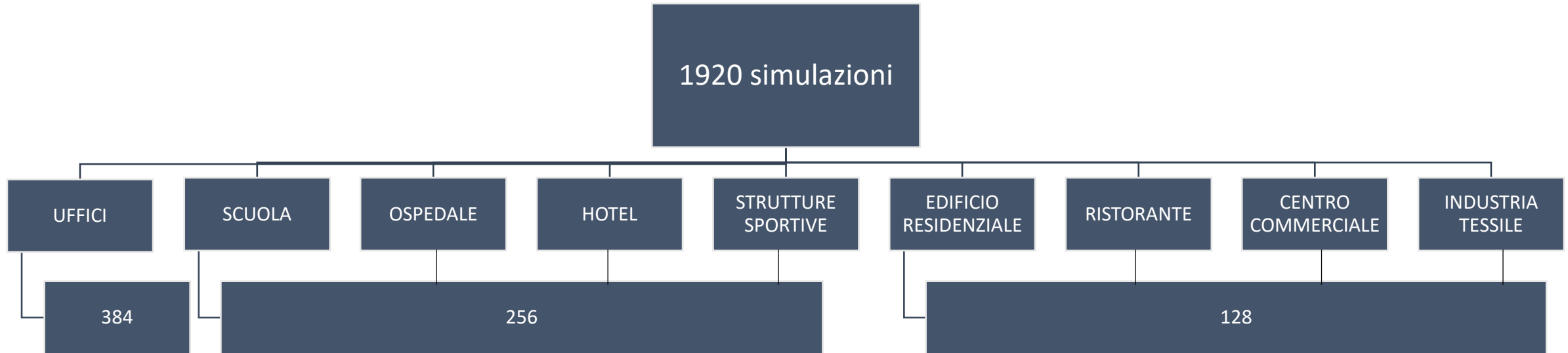


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024

LENICALC SOFTWARE



Con la partecipazione di:



ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024



Macro risultati

- ❑ Parametri che influenzano maggiormente il LENI:
- ❑ 1) L'impatto della sorgente luminosa è compreso tra il 70% e il 40%.
- ❑ 2) I sistemi di controllo dell'illuminazione possono portare notevoli vantaggi in termini di LENI inferiori al 25%.
- ❑ La variazione simultanea di tutti i parametri ha portato ad una diminuzione del LENI fino al 70%



I risultati del LENI (max, min, media) sono stati organizzati in una tabella preliminare di benchmark illuminotecnici



Con la partecipazione di:



Nel dettaglio...

Risultati LENI basati sulla variazione del sistema di controllo dell'illuminazione

Daylight responsive control system / Control system	LENI (kWh/(m ² year))								
	A (Residential)	B (Office)	C (Educational)	D (Hospital)	E (Hotel)	F (Restaurant)	G (Sport)	H (Wholesale)	I (Manufactory)
1/1	15,45	55,39	32,87	46,56	45,18	33,31	40,35	42,45	100,91
1/2	14,45	52,17	30,72	45,92	42,28	32,71	40,13	42,41	98,01
1/3	13,42	48,95	28,86	45,30	39,37	32,21	39,91	42,37	94,89
1/4	11,38	42,51	25,32	44,58	33,56	31,11	39,47	42,29	88,65
2/1	15,12	52,21	30,95	45,77	44,37	33,00	38,97	41,70	96,15
2/2	14,14	49,16	29,45	45,14	41,49	32,45	38,76	41,62	93,12
2/3	13,18	46,12	26,53	44,54	38,61	31,91	38,5	41,58	90,08
2/4	11,14	40,03	24,99	43,81	32,86	30,81	38,1	41,49	84,01
3/1	14,81	48,74	29,4	44,92	43,63	32,7	37,69	41,53	91,33
3/2	13,85	46,40	28,01	44,22	40,78	32,16	37,47	41,49	88,38
3/3	12,86	43,65	26,56	43,62	37,92	31,61	37,26	41,46	85,43
3/4	10,81	37,76	23,79	42,90	32,21	30,53	36,83	41,40	79,52
4/1	14,21	46,84	28,01	43,79	42,77	32,41	36,46	41,11	87,12
4/2	13,30	44,09	26,68	43,19	39,96	31,87	36,25	41,05	84,23
4/3	12,34	41,35	25,37	42,61	37,14	31,34	36,83	41,02	81,34
4/4	10,43	35,86	22,81	41,92	31,50	30,26	35,62	40,94	75,57

L. Pompei, L. Blaso, S. Fumagalli, F. Bisegna. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 15193-1:2017. Energy and Buildings 2022, Volume 263, DOI 10.1016/j.enbuild.2022.112025.



Con la partecipazione di:

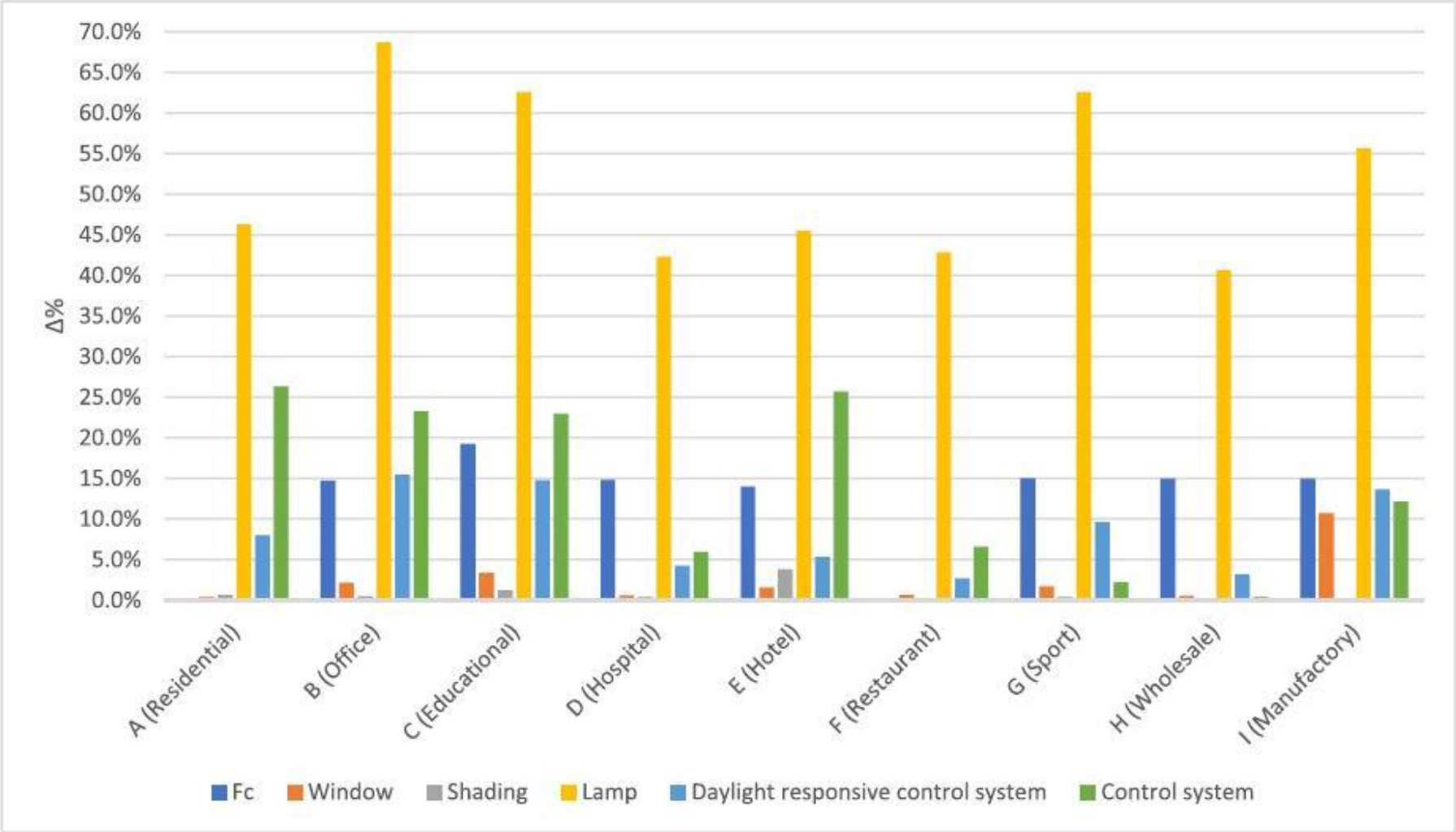


FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA UNI EN 15193, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024

Influenza dei parametri sul LENI dei nove casi.



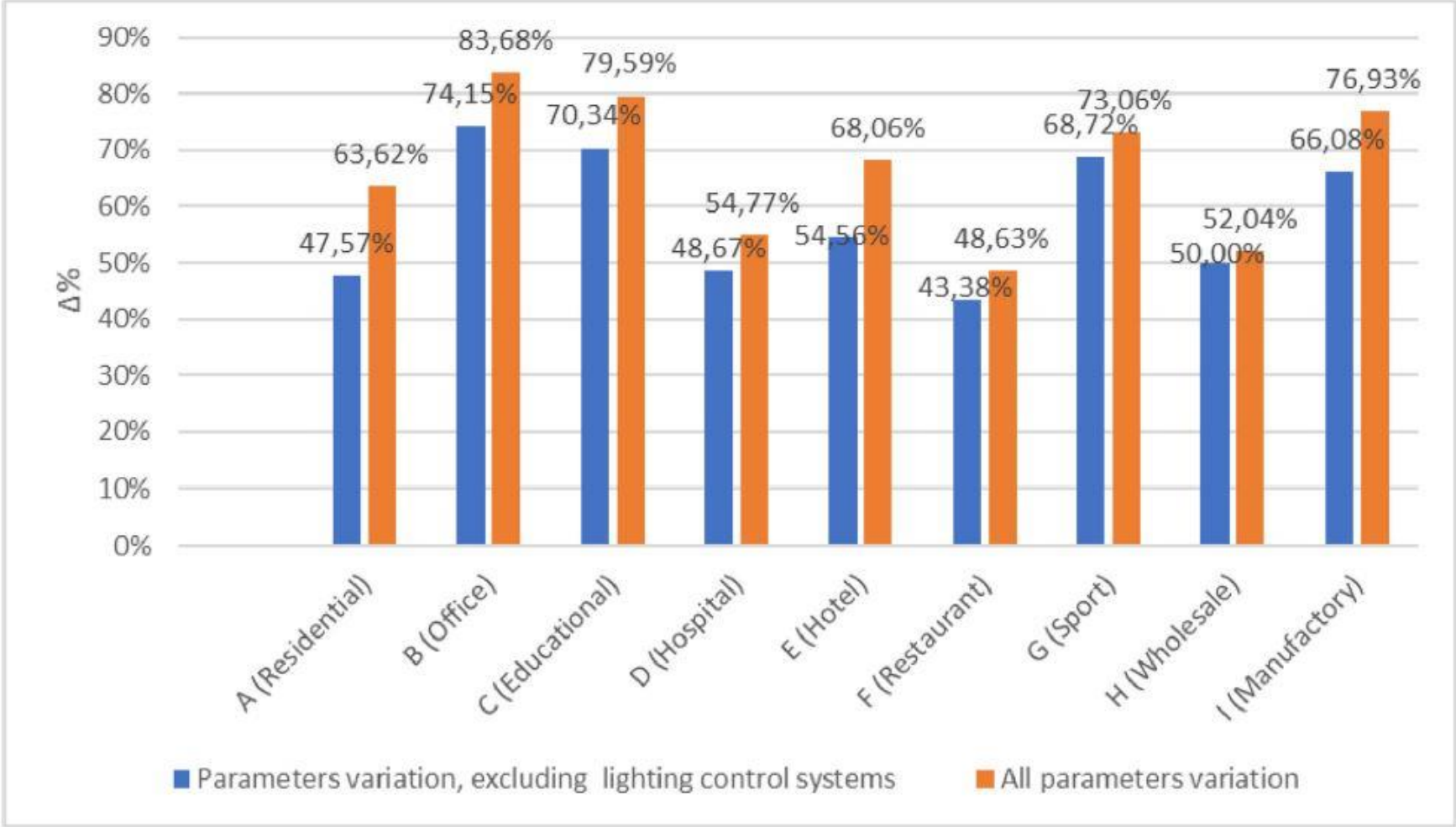
L. Pompei, L. Blaso, S. Fumagalli, F. Bisegna. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 15193-1:2017. Energy and Buildings 2022, Volume 263, DOI 10.1016/j.enbuild.2022.112025.



Con la partecipazione di:



Valori LENI ottenuti includendo ed escludendo i sistemi di controllo dell'illuminazione.



L. Pompei, L. Blaso, S. Fumagalli, F. Bisegna. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 15193-1:2017. Energy and Buildings 2022, Volume 263, DOI 10.1016/j.enbuild.2022.112025.



Con la partecipazione di:



Esempio risultati per un caso studio

1.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	40.35	45.59	23.20
		y	40.19	45.45	22.99
	1	x	34.29	38.75	19.72
AL	0	x	15.10	17.02	8.80
		y	15.01	16.93	8.72
	1	x	12.84	14.47	7.48
BF	0	x	39.67	44.78	22.97
		y	39.52	44.65	22.75
	1	x	33.72	38.06	19.52
BL	0	x	33.59	37.95	19.34
		y	33.59	37.95	19.34
	1	x	14.95	16.87	8.68
	0	x	14.84	16.76	8.59
		y	12.71	14.34	7.38
	1	y	12.62	14.24	7.30

1.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	40.13	45.37	22.98
		y	39.97	45.23	22.76
	1	x	34.11	38.56	19.53
AL	0	x	15.00	16.92	8.71
		y	14.91	16.83	8.62
	1	x	12.75	14.39	7.41
BF	0	x	39.45	44.56	22.74
		y	39.30	44.43	22.52
	1	x	33.54	37.88	19.33
BL	0	x	33.41	37.77	19.15
		y	33.41	37.77	19.15
	1	x	14.85	16.77	8.59
	0	x	14.75	16.66	8.50
		y	12.62	14.25	7.30
	1	y	12.54	14.16	7.22

2.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	38.31	43.44	21.79
		y	38.50	43.60	21.52
	1	x	32.76	36.93	18.67
AL	0	x	14.36	16.23	8.27
		y	14.26	16.12	8.15
	1	x	12.21	13.79	7.03
BF	0	x	37.90	42.84	21.73
		y	37.72	42.69	21.46
	1	x	32.21	36.41	18.47
BL	0	x	32.06	36.28	18.24
		y	32.06	36.28	18.24
	1	x	14.22	16.07	8.15
	0	x	14.10	15.95	8.04
		y	12.08	13.66	6.93
	1	y	11.98	13.56	6.83

2.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	38.10	43.17	21.52
		y	37.92	43.02	21.24
	1	x	32.89	36.70	18.29
AL	0	x	14.17	16.03	8.09
		y	14.06	15.92	7.98
	1	x	12.04	13.62	6.88
BF	0	x	37.47	42.41	21.29
		y	37.29	42.26	21.02
	1	x	31.85	36.05	18.10
BL	0	x	31.70	35.92	17.87
		y	31.70	35.92	17.87
	1	x	14.03	15.88	7.97
	0	x	13.91	15.75	7.86
		y	11.92	13.50	6.78
	1	y	11.82	13.39	6.68

1.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	39.91	45.15	22.75
		y	39.75	45.02	22.53
	1	x	33.92	38.38	19.34
AL	0	x	14.90	16.83	8.62
		y	14.81	16.73	8.53
	1	x	12.67	14.30	7.33
BF	0	x	39.24	44.35	22.51
		y	39.09	44.22	22.30
	1	x	33.35	37.69	19.14
BL	0	x	33.22	37.58	18.95
		y	33.22	37.58	18.95
	1	x	14.76	16.67	8.50
	0	x	14.65	16.56	8.41
		y	12.54	14.17	7.22
	1	y	12.45	14.08	7.15

1.4					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	39.47	44.72	22.29
		y	39.31	44.58	22.08
	1	x	33.55	38.01	18.95
AL	0	x	14.71	16.63	8.44
		y	14.62	16.54	8.35
	1	x	12.50	14.13	7.17
BF	0	x	38.80	43.92	22.06
		y	38.65	43.79	21.85
	1	x	32.98	37.33	18.75
BL	0	x	32.85	37.22	18.57
		y	32.85	37.22	18.57
	1	x	14.56	16.47	8.32
	0	x	14.46	16.36	8.23
		y	12.38	14.00	7.07
	1	y	12.29	13.91	7.00

3.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	37.69	42.59	21.65
		y	37.47	42.40	21.32
	1	x	32.03	36.20	18.40
AL	0	x	14.05	15.86	8.10
		y	13.93	15.75	7.97
	1	x	11.94	13.48	6.89
BF	0	x	37.06	41.85	21.41
		y	36.85	41.67	21.08
	1	x	31.50	35.57	18.20
BL	0	x	31.32	35.42	17.92
		y	31.32	35.42	17.92
	1	x	13.90	15.71	7.99
	0	x	13.76	15.57	7.85
		y	11.82	13.35	6.79
	1	y	11.70	13.23	6.67

3.2					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	37.47	42.38	21.43
		y	37.25	42.19	21.10
	1	x	31.85	36.02	18.21
AL	0	x	13.67	15.48	7.93
		y	13.55	15.37	7.82
	1	x	11.86	13.40	6.81
BF	0	x	36.85	41.63	21.20
		y	36.64	41.46	20.87
	1	x	31.32	35.39	18.02
BL	0	x	31.14	35.24	17.74
		y	31.14	35.24	17.74
	1	x	13.81	15.61	7.90
	0	x	13.67	15.47	7.77
		y	11.74	13.27	6.72
	1	y	11.62	13.15	6.60

3.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	37.26	42.16	21.21
		y	37.04	41.98	20.88
	1	x	31.67	35.54	18.03
AL	0	x	13.86	15.67	7.93
		y	13.74	15.55	7.79
	1	x	11.78	13.32	6.74
BF	0	x	36.64	41.42	20.98
		y	36.43	41.25	20.65
	1	x	31.14	35.21	17.83
BL	0	x	30.96	35.06	17.55
		y	30.71	34.81	17.21
	1	x	13.51	15.38	7.68
	0	x	13.39	15.26	7.54
		y	11.66	13.19	6.64
	1	y	11.54	13.07	6.53

4.1					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	36.46	41.27	20.71
		y	36.20	41.05	20.38
	1	x	30.99	35.08	17.60
AL	0	x	30.77	34.89	17.28
		y	30.77	34.89	17.28
	1	x	13.50	15.29	7.65
BF	0	x	13.35	15.14	7.49
		y	13.35	15.14	7.49
	1	x	11.48	13.00	6.50
BL	0	x	11.35	12.87	6.37
		y	11.35	12.87	6.37
	1	x	35.83	40.54	20.42
	0	x	35.58	40.33	20.04
		y	30.46	34.46	17.36
BF	0	x	30.24	34.28	17.04
		y	30.24	34.28	17.04
	1	x	13.32	15.09	7.51
BL	0	x	13.15	14.93	7.35
		y	11.32	12.83	6.38
	1	y	11.18	12.69	6.25

4.3					
Nomenclatura			LENI kWh/(m²·anno)	Piano terra (subLENI) kWh/(m²·anno)	Piano primo (subLENI) kWh/(m²·anno)
AF	0	x	36.04	40.85	20.29
		y	35.78	40.63	19.91
	1	x	30.63	34.72	17.24
AL	0	x	30.41	34.54	16.92
		y	30.41	34.54	16.92
	1	x	13.32	15.10	7.49
BF	0	x	13.17	14.95	7.33
		y	13.17	14.95	7.33
	1	x	11.19	12.71	6.23
BL	0	x	35.45	40.12	20.01
		y	35.17	39.32	19.63
	1	x	30.10	34.11	17.01
BF	0	x	28.89	33.93	16.68
		y	28.89	33.93	16.68
	1	x	13.14	14.90	7.35
BL	0	x	12.97	14.74	7.19
		y	11.17	12.67	6.24
	1	y	11.03	12.53	6.11

BENCHMARK PRELIMINARE

LENI targets (preliminary lighting benchmark)

Building type	Max LENI (kWh/ (m ² year))	Average LENI (kWh/(m ² year))	Min LENI (kWh/ (m ² year))
Residential buildings	15,45	11,11	5,62
Offices	55,39	27,15	9,04
Education buildings	32,87	17,29	6,71
Hospitals	46,56	32,68	21,60
Hotels	45,18	28,41	26,07
Restaurants	33,31	25,10	14,43
Sports facilities	40,35	20,36	10,87
Wholesale and retail services	42,45	28,21	20,36
Manufacturing factories	100,91	54,81	23,28



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024

CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI

- ❖ Lo scopo di questo studio è stato quello di **valutare i fabbisogni energetici di illuminazione delle nove tipologie edilizie riportate nella norma.**
- ❖ L'impatto dei singoli parametri ha evidenziato come la tipologia della sorgente possa raggiungere maggiori benefici in termini di risparmio energetico. **Il passaggio da sorgenti fluorescenti a LED comporta una riduzione del 70%-40% di energia elettrica.**
- ❖ **I sistemi di controllo dell'illuminazione possono apportare notevoli vantaggi in termini di decremento del LENI inferiori al 25%.** Le loro prestazioni sono principalmente legate al livello di occupazione della tipologia di edificio e all'area "illuminata" disponibile definita dalla geometria delle finestre.
- ❖ La presenza del **<Efficiency Factor of Constant Illuminance Control>** consente una discreta riduzione del LENI, **circa il 15%.** Fatta eccezione per le industrie tessili, i parametri relativi alle finestre e all'ombreggiamento forniscono pochi contributi alla diminuzione del LENI.
- ❖ I risultati ottenuti del LENI sono organizzati in una **tabella preliminare di benchmark illuminotecnici.**
- ❖ Futuri sviluppi sono focalizzati nell'analisi del LENI a livello internazionale.



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

PUBBLICAZIONI

- ❑ L. Pompei, L. Blaso, S. Fumagalli, F. Bisegna. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 15193-1:2017. Energy and Buildings 2022, Volume 263, DOI 10.1016/j.enbuild.2022.112025.
- ❑ L. Pompei, F. Bisegna, S. Grignaffini, L. Blaso, S. Fumagalli (2022). The influence of lighting control techniques on the energy consumption of an Italian hotel. In: EEEIC / I and CPS Europe 2022, Prague, DOI 10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854669.
- ❑ L. Pompei, B. Mattoni, F. Bisegna, L. Blaso, S. Fumagalli (2020). Evaluation of the energy consumption of an educational building, based on the UNI EN 15193- 1:2017, varying different lighting control systems. In: 2020 EEEIC / I&CPS Europe. p. 1-6, IEEE, ISBN: 978-172817453-2, Madrid; Spain, DOI 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160588.



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Con la partecipazione di:



FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ILLUMINAZIONE DEGLI EDIFICI: CALCOLO DEL LENI SULLE NOVE DESTINAZIONI D'USO DELLA **UNI EN 15193**, MEDIANTE LENICALC

03 giugno 2024