

LIGHTING & ENERGY SAVINGS

Some Research Fields at Fisica Tecnica Department, “La Sapienza”

Franco GUGLIERMETTI, Fabio BISEGNA

University of Rome “La Sapienza”, Italy

Since many years, the Fisica Tecnica Department, and specifically its Environmental Group (FTEG), is involved in a broad program of research directed toward improving the health, comfort and energy efficiency of the indoor and outdoor environment.

Light always represented a basic need for human beings; in the past, problems concerned only in obtaining acceptable values of first level parameters, such as illuminance levels, where necessary, indoor as far as outdoor, didn't matter if reached with natural or artificial light. Nowadays, energetic crises and a continuous request for a higher quality of the indoor environment lead to thorough analyses of systems and strategies for a smart management of light, to achieve the always greater requests for environmental comfort with the best energy savings. FTEG integrates experimental, analytical and modelling competencies in the area of lighting, specifically in daylighting strategies and their luminous and thermal implications, in the analysis of innovative glazing materials, in the smart management of natural and artificial light, in investigations aimed to create a comfortable environment from a luminous and colorimetric viewpoint.

1. Introduction

Since many years, the Fisica Tecnica Department, Faculty of Engineering, University of Rome “La Sapienza”, and specifically its Environmental Group is involved in a broad program of research directed toward improving the health, comfort and energy efficiency of the indoor and outdoor environment. FTEG (Fisica Tecnica Environmental Group) integrates experimental, analytical and modelling competencies in the areas of lighting, acoustics, ventilation, indoor air quality (IAQ), thermal comfort, energy efficiency. Our work focuses also on improving health and productivity of building occupants, and understanding human exposures to environmental pollutants found in indoor and outdoor air. Here only the activities directly connected to light and lighting will be presented.

FTEG is constituted by Prof. Franco Gugliermetti, director of the Department, Prof. Luciano Santarpia, PhDs Fabio Bisegna and Paola Gori, and PhD Students Gianluca Zori and Amalia Gelfù.

FTEG lighting and energy program includes experiences in the areas of daylighting and artificial lighting components, and of energy efficiency in buildings, through an integrated

energy analysis, including building code and standards development and application; main topics are: passive solar design, analysis of new glazing materials from an energy efficiency and environmental points of view, active control and smart management of natural and artificial light. Each topic is studied following both numerical and experimental approaches. The final aim is to produce guidelines and nomograms, tables and graphs, for helping the designers at the different stages of the design process, and user-friendly design tools, numerical algorithms and codes for simple and advanced simulation programs.

The FTEG is a very active group, with many presences in national and international congresses and conferences, as far as in specific international scientific journals; content of some scientific work results is presented in a brief bibliography concerning the last three years of activity (2001, 2002, 2003). Solar energy and control plays a leading role in these publications, as it is a particularly attractive factor for each of the proposed themes, air conditioning, daylighting, energy savings in buildings, and it is a basic element to create a comfortable environment in rooms and to minimize energy consumption.

2. Daylight in underground open spaces

In the urban context of large cities is even more frequent to occupy underground spaces for several different purposes, such as car parks, subway stations, underground lanes, commercial centers, being strongly reduced the availability of space at the street plane. Those spaces generally require enough natural illuminance (and ventilation) to guarantee both an appreciable environment and to reduce electric consumption of the artificial lighting system. The amount of the required daylight is strictly connected to the usage of the considered spaces. Recommended Daylight Factors, DFs, can be potentially reached for most time of the year as the outside daylight is abundant and can be more than 10.000 lx for at least 3000 h/year for many European countries. Some efforts have been made to assess and improve the performance of light ducts, wells and shafts, which are commonly used to guarantee acceptable levels of natural light all over the underground spaces. These studies use different approaches mainly based on computer simulations and scale models: software packages help designers allowing an accurate analysis in terms of data and variables, physical models, combined with experimental measures, give an in-depth qualitative and quantitative study of a “similar” situations, different however from reality.

Several aspects of the problem have been studied: sizing of continuous shafts by scale models of multi-level open underground spaces, energy savings and natural ventilation related to continuous light shafts by an integration between scale model measurements and numerical simulations, validity of results by comparisons between scale model results under real overcast sky and computer simulations, and then with real underground spaces [1, 2, 3, 4, 5]. Figure 1, in which X/W is the adimensional factor linked to the length of the external opening, and H/W represent here the Shaft Index, that is the ratio between the reflecting wall area and the external free opening area of the shaft, presents an example of the latter kind of comparison. Some experimental charts to calculate local DFs for

multilevel underground areas have been moreover presented. What it has been demonstrated is that the main parameter influencing DFs is the depth width; the sky component of illuminance is prevalent in respect to the effect of reflection in the zones near the shaft. The proposed method for sizing shafts is based on illuminance and on the required annual duration of external natural light, while glare, illuminance dis-uniformity and distributions have not been directly taken into account and are still to be studied, as they depend on human activities.

3. A proposal for an adimensional model of the visual environment

Advanced and simplified energy analysis programs can be advantageously used at different stages of the building design process to reach a good optimization, coordination and choice among the available light control systems and strategies. Complex simulations are often not appropriate to outline basic daylighting strategies in a first approach and to solve simple, frequently occurring problems. At the same time, it can be useful to simplify lighting evaluations at maximum to reduce on one hand the running time of complex advanced programs, and on the other to have simple tools to use in the first phases of design. The request for a quick performance evaluation, for a buoyancy and simplicity in data input, for a possibility to change easily control strategies and meteorological data is always greater; although in fact modeling processes have been simplified over the last years, these tools still require detailed modeling, high computational power and a thorough knowledge of the programs, still being so far rather time consuming and not cost-efficient. One of the most time consuming task and difficulty for these advanced methods able to evaluate the integration of luminous and thermal aspects in the overall building energy analysis is the calculation of internal natural lighting levels when a dynamic scenario is considered; the most adopted solution by advanced packages is to pre-process the illuminance data before entering the thermal calculations.

The aim of this research is to develop a simple numerical approach to study the dynamics of indoor natural illuminance by adimensional parameters that can characterize the geometric aspects of the window and indoor spaces during the whole year, basing the analysis on peculiar points of the room chosen in function of the features of the light control system; this approach can greatly simplify dynamic illuminance calculations.

The parameters K , that is window length/window height ratio, and S , window surface/room surface ratio, are used to characterize the geometrical aspects of windows and rooms. Correlations amongst several parameters have been developed following a numerical way; an experimental confirm to all simulations results has been then carried out with different kinds of sky on a 1:5 scale model, Figures 2 and 3. Analysis of results points out that sun diffuse and direct irradiation illuminances produce easy predictable trends for different values of K and S , once the trend on the whole year and day of a single case is known. The same happens when considering the reflected component of diffuse and direct sun irradiation.

All the results belonging to other K_i parameters can be obtained by applying a simple formula of the type $K_i = m K_1$, where K_1 is considered as the reference element. The final aim should be to produce guidelines and procedures for an optimised design method on one side, simplified calculation tools for illumination algorithms to use in advanced and simplified building energy analysis programs. Anyway, the purpose to integrate all the possible variables obtaining a sufficiently flexible calculation method seems to be satisfied yet, although the research is still under development [6, 7, 8].

The complexity of the problem due also to the presence of parameters like latitude, orientation and season, suggest to develop future research following the numerical as well as the experimental way, in both cases of real and artificial skies, from fully overcast to completely clear, to reach a higher universality of the results.

4. Assessing the dynamics of illuminance in the indoor environment with external shading devices

Designers' challenge is not only to realize energy efficient designs of building systems and subsystems, but also to guarantee a high level of indoor comfort. With the shift towards energy efficient design solutions, it has become important to consider the integrated management of the visual and the thermal requirements taking into account the luminous and thermal implications of daylighting strategies; the final aim should be to maximize the incoming of daylight, consequently minimizing the use of artificial light, at the same time preventing occupants from glare. In this viewpoint, solar control should be a necessary factor to create a comfortable environment in rooms and to minimize energy consumption. External shading devices are low-cost and simple solutions for preventing the undesirable heat coming through the windows in the overheated period and the glare caused by direct sunlight; moreover, they protect openings against rain and provide a "sculptured skin" of buildings. At the same time, anyway, they reduce the amount of daylight entering the rooms increasing the load due to the lighting system. So, the design of an optimal component is necessarily a trade-off between visual and thermal comfort requirements.

The aim of this research is to develop simplified procedures to assess the visual environment, producing user-friendly methods to simplify illuminance calculations on the darkest point of the horizontal working plane for an office room, when an external shading device is present. These can be considered as work-tools in the first phases of design as well as simplified calculation procedures for a quick assessment of the minimum indoor natural illuminance when external shadings and light control systems are used, reducing at most the running time or the number of necessary simulations of daylighting computational programs as well as advanced packages for energy building analysis.

A simple formula based for a rapid evaluation of the total interior illuminance on the darkest point of the room due to the contribution of two different components, respectively produced by the horizontal direct, through the ratio sunlit area/total window area, and the diffuse solar radiations, both expressed by the Solar System Luminous Efficacies, has been proposed. The efficacy of the formula has been tested against simulations and experimental measurements on a 1:5 scale model, resulting in a great reliability when applied to both numerical and design applications, with errors in both cases comprised in the range 10%-18%, Figure 4 [9, 10, 11, 12].

The possibility of extending this research is greatly linked to the individuation of adimensional parameters leading back to the previously described analysis: a development of new equations to use in integrated energy analysis as well as design guidelines should be the natural consequence of this future investigation.

5. Innovative glazing materials

Industries in these last years have developed and produced different types of transparent materials and light control systems to improve the design and the operation of buildings to take full advantage of the energy saving potential coming from daylight.

Transparent spectrally selective coatings on glass or polymeric substrates are nowadays available. The possibility of producing homogeneous thin film over large areas, with different spectral behavior, provides the low-e can be competitive respect to new products for many building applications. At the present state of art the alternative candidates for low-transmittance windows are: silica aerogels, Transparent Insulating Materials (TIM) and vacuum glazing, that offer the possibility of having high thermal performance. The possibility to combine low-transmittance values with solar diffuse transmittance can also permit glare control and daylight applications in same types of TIM and aerogels. Moreover, building envelopes realised with “dynamic” windows,

whose change in transparency is due to ElectroChromic (EC) devices that can change their optical properties in response to control parameters, can represent a way to improve both environmental quality and energy use efficiency. Different double glazed window systems are commercially available in different sizes up to about 2 m². Then the possibility to integrate EC transparent materials in building windows, as a part of commercial light control systems, appears nowadays very promising.

On the other side, light control systems capable of adjusting both electric and light output and the incoming daylight are recognized as very important in non-residential buildings, as artificial lighting is one of the major energy consumers and can influence HVAC size and the total peak electrical demand. Control systems try to take advantage of natural light to reach both good energy saving and acceptable environmental conditions. Different types of management strategies and equipment are used. Automatic control of mini-internal blinds to large exterior rolling louvered shutter systems are available and popular due to their adjustability and ability to reflect light: a photosensor signal closes or opens the blinds, when more or less than enough daylighting is available. The logic for such automatic controls must be carefully integrated with the logic for the electric light controls to avoid unstable conditions in the visual environment. Artificial lighting control system instead provides the required amount of light when needed, minimizing electrical energy consumption. Photoelectric control systems today operate with algorithms that can realize either a closed-loop integral or an open-loop proportional control. By following different approaches and strategies (daylight-following approach, daylight compensation strategy, lumen maintenance strategy) electric lights are dimmed or switched to correspond with the amount of necessary illuminance. Studies carried on by FTEG aim to analyze, through an integrated visual-thermal approach, the space energy demand and the environmental quality connected to the use of advanced glazing materials, that seem to be more suitable and promising for building

applications when combined with adequate light control systems. An appositely self-developed advanced program for integrated building energy analysis, IENUS (Integrated ENergy Use Simulation), has been developed and validated. IENUS is able to solve different problems linked to the selection of innovative materials, climatic data, active and passive light control systems and strategies. Two main aspects have been deepened: the energy efficiency aspect, well developed but still in study, and the environmental problem, more complex and still in the first phase of development.

5.1 Environmental Aspects: Research, Results and Future Developments

Smart management means not only to assure a suitable quantity of light but also to maximize the income of natural light, improving visual environment quality and reducing artificial light electrical consumption; to create a comfortable environment in rooms, solar control is here too a basic factor. Only for EC systems, the visual aspects linked to several artificial and lighting control strategies applied to office buildings in Mediterranean climate have been analyzed, with the purpose to compare the efficiency of several systems to manage daylight and artificial light realizing a luminous comfortable environment by maximizing the incoming of daylight, guaranteeing the fixed value of illuminance on the working plane, avoiding glare, and at the same time assuring the maximum of energy savings. The back of the room represents the most critical zone due to its smallest natural illuminance that influences local visual comfort; the position of the darkest point for natural illuminance changes during the year in function of latitude, window orientation and glazing system; besides the same parameters and the control system can alter its value.

Studies show that latitude, window orientation and system, daylight control strategy influence the yearly percentage of lux distribution in the darkest point of the working plane, and so the choice of the whole light control system. Moreover, a traditional window system with a good solar and visual transmittance and an on/off daylight control strategy generally needs the continue presence of curtain, causing a complete closing during

the day and consequently the “risk of seclusion” for the occupants, assuring anyway no need for artificial light; while a more complex system presents a more peculiar trend, due to its variable transmittance and to its ability to modulate daylight (Figure 5). There is so far a dual behaviour between energy efficiency and environmental comfort aspects that requires a deeper analysis, [13, 14, 15, 16].

This is what happens when considering first level parameters, that means fixing a minimum illuminance values on the working plane and avoiding glare; colorimetric quantities in their spatial distribution represent instead an example of second-level parameter supporting the usual Colour Rendering Index (CRI) and the Correlated Colour Temperature (CCT) of light sources; also this kind of parameters should be considered due to the rising demand for an increasingly comfortable environment and the growing functional complexity of spaces. Anyway, the study of chromatic aspects should be developed not only with new glazing materials, but also when the spaces are provided with different types of lamps (Multi Type Lamp System, MTLs) or with artificial lighting systems employed for integrating daylight (Permanent Supplementary Artificial Light for Interiors, PSALI). An example of what happens when a MTLs (50 W HP sodium lamps/100 W halogen lamps) is used is presented in Figure 6 for a machine shop: Two cases have been considered: 1:1 ratio (40 lamps) and 1:2 ratio (45 lamps, 15 Sodium/30 Halogen), both with wide beam spreads (more than 40°) of luminous intensity distributions. Results show that illuminance is always assured on the working plane (graphs at the top of the Figure); mean CRI satisfies CIE Standard (graphs in the middle), but it is not always assured an acceptable behaviour from colorimetric point of view, as evidenced by white regions (last two graphs) [17, 18].

Several ways of development are still required in this field: thorough analyses are required on one side to characterise natural and artificial control systems and systems from an environmental viewpoint, trying also to find out environmental control parameters; on the other side spatial chromatic aspects and visual quality in an indoor environment should be deepened to improve occupants' comfort: characterising MTLs and creating guidelines,

matching new glazing materials, MTLs and PSALI, optimising geometry and lamps, is still to be done through numerical and experimental investigations.

5.2 Energy Efficiency Aspects: Research, Results and Future Developments

The energy efficiency aspect considers overall and partial (heating, cooling and lighting) energy requirements of a typical office room in Mediterranean climate when different strategies to control natural and artificial light are used in combination with innovative glazing systems; specifically, on/off strategy has been proposed for the internal curtain control, on/off and linear strategies have been considered for the EC systems, while on/off, linear (dimming) strategies and occupants' interaction have been studied to characterize the behavior of the artificial lighting system.

Studies evidenced the importance of both optical properties of glazing systems and the adopted strategy of the lighting control system, as far as the negative influence of occupants' interaction. Specifically for EC systems, energy efficiency optimal values of controlling parameters have been evaluated to limit at maximum energy consumption, while only a proposal has been done for an environmental based criteria to choose these values, Figure 7, [20, 21, 22, 23, 24].

Still under study are the developments concerning the integration between passive and active control systems that could lead to interesting results. The future of this part of the research consists in detailed optical experimental measurements on single and double sheet glazing with different coatings to define optimal glazing combinations to realize energy efficient multi-sheet glazing systems, on one side, and in the possibility to create new possible daylighting control solutions combining new and old systems, such as overhangs and EC systems. Experimental tests on all the possible innovative glazing materials should be done, from an optical and thermal viewpoint as well as by applying them on scale models and real rooms to verify the possibility and the efficacy of combination with several new control strategies.

6. Meteorological days for HVAC system design

Choosing reference thermo-hygrometric outdoor conditions to evaluate thermal loads and sizing HVAC plants is a very important technical decision in the development of HVAC design. In the design process, the evaluation of thermal loads generally influences both the initial and the operating costs of the HVAC system: an overestimation causes in fact an oversizing of the system, that is an increase of the initial costs, characterized by the tendency to work in non-optimal efficiency conditions; an underestimation instead will cause the opposite. Several standards are available to choose design procedures that generally lead to Design Reference Days, DRDs; anyway in commercial and office buildings designed with energy efficient criteria it seems really difficult to size HVAC systems with DRDs, as they hardly can foresee HVAC thermal peak-loads; this becomes a critic aspect when innovative transparent materials and artificial and natural light control systems are used.

A DRD is generally built up with the use of average thermal ranges and temperature distributing factors, and presents no statistical correlations among its meteorological data; a DMD (Design Meteorological Day) instead is the alternative solution: it is a real existing historical day selected in a yearly set of data to whom it's possible to refer the maximum energy requirements basing on the value of a parameter, the equivalent temperature, defined as a combination among the most significant outdoor parameters influencing the thermal behaviour of buildings, temperature, saturation temperature and total solar radiation. A DMD can be selected on the base of an environmental criterion, with severe climatic conditions in terms of maximum cooling loads, and consequently, this kind of selection will provide systems and plants operating with the maximum number of hours per year at part load and thus with a low global energy efficiency, or following an energy optimization criterion, choosing less severe climatic conditions, able to assure smaller plants operating over longer

periods at maximum performance conditions, thus increasing the overall energy efficiency of the plant-building system [25, 26].

The importance of DMD concept is based on the fact that it is a real day, in opposition to the DRD that is a “deterministic” and statistically developed day. Adopting such a deterministic approach means to ignore the stochastic effect of climate, generally impossible to forecast, and produce non-negligible errors in the evaluation of residential and commercial buildings. Solar irradiance has the most relevant influence on total yearly energy requirements in office buildings: data with the only deterministic component show higher energy requirements in respect to the stochastic ones, and the difference increases whereas the solar radiation is stronger; this effect is also dependent on the considered window. The effects of the climatic data, however, lose significance in winter, because internal heat gain due to artificial lighting system is very important; so the influence of external wall orientation is basically caused by daylighting factors [27, 28].

The presented approach is only an attempt, as latitude, kind of Typical Year, criteria, greatly influence the problem; in particular, some strategies still have to be defined concerning the optimization in the evaluation of the equivalent temperature and global and local risk levels, that are the basic environmental indicators for the selection of DMDs.

7. Conclusions

One of the most attracting aspects of Research is to present no limits: it does not exist an arrival point, once accepted the existence of a starting point. The freedom of the mind in facing up whatever combination of problems is what gives to the researcher the strength to accept every challenge and fight against each kind of difficulty. The same necessity anyway presents the accurate, correct and careful spreading of results and knowledge, at every level, from a scientific as well as popular point of view. Knocking down the borders of scientific communication is a basic step and it couldn't set aside the development of a net of

national and international contacts that allow the researcher, or group of researchers, to know, compare and cooperate with realities, researchers of the same and of other countries.

FTEG is a very active group involved in a broad program of research directed toward improving the health, comfort and energy efficiency of the indoor and outdoor environment; it integrates experimental, analytical and modelling competencies in the areas of lighting, acoustics, ventilation, indoor air quality, thermal comfort, energy efficiency.

Here several researches at the stage of development in the field of light and lighting have been presented, and many others there exist in this, i.e. the starting investigation on the responsibilities of reflectance in the evaluation of luminous night pollution, people behavior and influence on the control strategies of artificial light and indoor shading devices, development of innovative luminaires, environmental control of museums, specifically lighting and picture degradation, and in other research fields.

Progress passes through research, and it through the efforts of many researchers all over the world: cooperation could represent a very simple key to open the doors of a still more rapid growth towards a better, more suitable and sustainable world.

8. References

- 1 Gugliermetti F., Grignaffini S. (2001), *Shafts for daylighting underground spaces: sizing guidelines*, Int. J. of Lighting Research and Technology, N.3, 2001.
- 2 Gugliermetti F., Grignaffini S., Bisegna F. (2001), *Computer Simulations, Full and Scale Model Measurements as Design Tools to Assess Daylight Factors in Underground Open Spaces*, Proc. of CIE International Lighting Congress, 12-14 September, Istanbul, Turkey
- 3 Gugliermetti F., Grignaffini S. (1999), *Energy savings related with the natural and artificial light in the underground car parking areas*, Proc. of ISES Solar World Congress, Jerusalem, Israel.
- 4 Gugliermetti F., Grignaffini S. (1999), *Shafts for natural light and ventilation in underground parking areas* Proc. of Urban Transport and the environment, pp. 267-276, Rodi, Greece.
- 5 Gugliermetti F., Grignaffini S. (1999), *Daylight in underground open spaces: computer and model simulation*, Proc. of CIE 24th Session, Warsaw, Poland.

- 6 Gugliermetti F., Bisegna F. (2002), *Assessment of the Visual Environment in Advanced Simulation Packages for Building Energy Analysis*, Eurosun 2002 International Congress, 23-26 June 2002, Bologna, Italy.
- 7 Gugliermetti F., Bisegna F. (2003), *A Way to the Visual Environment Assessment for Advanced Simulation Packages Devoted to Building Energy Analysis*, 25th CIE World Session, 26 June – 3 July 2003, S. Diego, CA.
- 8 Gugliermetti F., Bisegna F. (2003), *Un Approccio Semplificato per la Caratterizzazione Numerica dell'Ambiente Luminoso Interno*, Convegno Nazionale ATI, Padova/S. Martino di Castrozza, 8-12 Settembre 2003
- 9 Gugliermetti F., Bisegna F. (2003), *Assessing the Dynamics of Indoor Natural Illuminance in Advanced Packages for Building Energy Analysis*, submitted to Building Simulation 2003 Int. Congress, 12-14 August, Eindhoven, The Netherlands.
- 10 Bisegna F., Aureli C., (2002), *Shading Devices in Building Design*, New and Renewable Energy Technologies for Sustainable Development International Conference, Ponta Delgada, S. Miguel Island, Azores, Portugal, 24-26 June 2002
- 11 Aureli C., Bisegna F., (2002), *Outdoor Shading Devices Design in Mediterranean Climate*, LuxAmerica 2002 Pan-American Conference on Lighting, San Miguel de Tucuman, Argentina, 24-28 June 2002
- 12 Aureli C., Bisegna F., (2002), *Calcoli Illuminotecnici in presenza di Schermature Esterne nell'Analisi Energetica Computerizzata degli Edifici*, Convegno Internazionale AIDI, Perugia, 3-5 Dicembre 2002
- 13 Gugliermetti F., Bisegna F., (2003), *Visual Behaviour of Light System Controls Operating with Electrochromic Windows*, Submitted to Int.l J. Lighting, Research and Technology
- 14 Gugliermetti F., Bisegna F., (2002), *Dynamic Windows in Buildings*, New and Renewable Energy Technologies for Sustainable Development International Conference, Ponta Delgada, S. Miguel Island, Azores, Portugal, 24-26 June 2002
- 15 Gugliermetti F., Bisegna F., (2002), *Natural and Artificial Light in Buildings with Dynamic Windows in Mediterranean Climate*, LuxAmerica 2002 Pan-American Conference on Lighting, San Miguel de Tucuman, Argentina, 24-28 June 2002.
- 16 Gugliermetti F., Bisegna F., (2001), *Strategie di controllo della luce naturale ed artificiale per ambienti con finestre elettrocromiche*, Convegno AIDI, Perugia, 4-6 Dicembre 2001.
- 17 Gugliermetti F., Bisegna F., Gori P., (2003), *Color and Environmental Quality: Second Level Parameters*, Healthy Buildings 2003, December, Singapore.
- 18 Gugliermetti F., Gori P., Bisegna F., (2003), *Colore e Qualità Ambientale: Una Metodologia d'Indagine*, Convegno Nazionale ATI, Padova/S. Martino di Castrozza, 8-12 Settembre 2003.
- 19 Gugliermetti F., Bisegna F., (2003), *Visual and Energy Management of Electrochromic Windows in Mediterranean Climate*, Building and Environment, vol. 38/3, pp. 67-80, Pergamon Press
- 20 Gugliermetti F., Bisegna F., (2001), *Natural and artificial light control systems and strategies for energy saving and environmental comfort in Mediterranean climate*, Proc. of CIE International Lighting Congress, 12-14 September, Istanbul, Turkey
- 21 Gugliermetti F., Passerini G., Bisegna F., (2002), *Electrochromic Windows as a Chance to Improve Energy Saving in Office Buildings in Mild Climates*, Sustainable Building 2002 International Conference, SB02, Oslo, Norway, 23 - 25 September 2002
- 22 Gugliermetti F., Santarpia L., Bisegna F., (2001), *Integrated energy use in office spaces*, Proc. of 7th Int. IBSA Conference, Building Simulation, 13-15 August, Rio de Janeiro, Brazil
- 23 Gugliermetti F., Bisegna F., (2002), *External shadings and glazing materials as passive systems to improve energy consumption and indoor comfort in office buildings*, EPIC 2002 AIVC Conference, Lyon, France, 23-26 October 2002.
- 24 Gugliermetti F., Bisegna F., (2002), *Le Strategie di Controllo della Luce Naturale per il Nuovo Millennio*, Convegno Internazionale AIDI, Perugia, 3-5 Dicembre 2002
- 25 Gugliermetti F., Bisegna F., (2003), *Meteorological Days for HVAC System Design in Mediterranean Climate*, to be published in the Journal Building and Environment, Pergamon Press.
- 26 Gugliermetti F., Bisegna F., Battista P., (2002), *Utilizzo di Anni Tipo Meteorologici per la Progettazione di Impianti HVAC*, Convegno Nazionale ATI, Pisa, 15 – 18 Settembre 2002
- 27 Gugliermetti F., Passerini G., Bisegna F., (2003), *Climate Models for the Assessment of Office Buildings Energy Performance*, submitted to the Journal Building and Environment, Pergamon Press.
- 28 Gugliermetti F., Passerini G., Bisegna F., (2002), *Climate Models for Comfort and Energy Integrated Analysis of Lighting and HVAC Systems in Office Buildings*, Eurosun 2002 International Congress, 23-26 June 2002, Bologna, Italy
- 29 Gugliermetti F., Grossi L., Bisegna F., (2001), *Climate Stochastic Components in the assessment of Building Energy Performance*, Proc. of Clima 2000, World Congress – Napoli, 15-18 September 2001, Italy

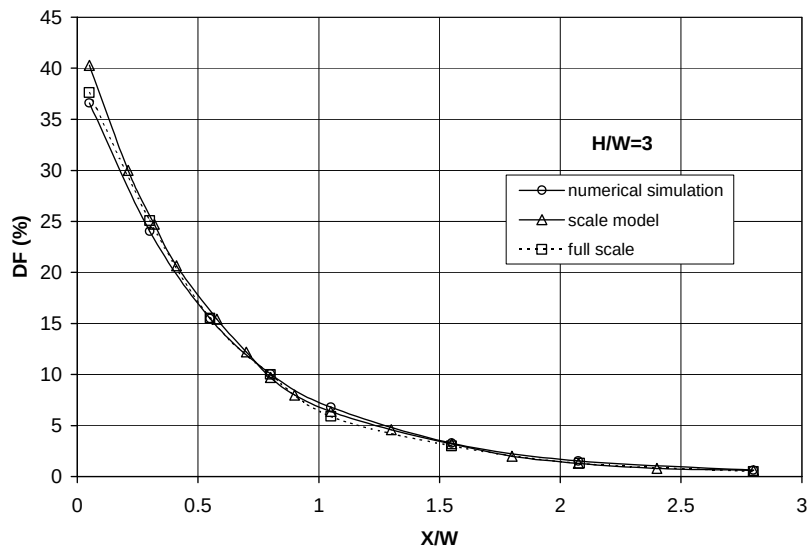


Figure 1 Numerical simulation, scale model and full scale DFs versus X/W for $H/W=3.00$.



Figure 2 1:5 scale model.

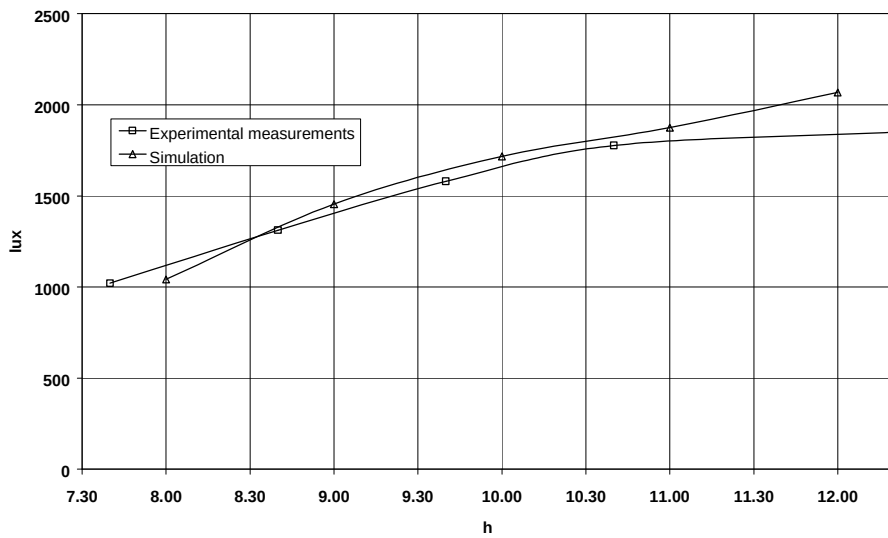


Figure 3 Experimental versus simulation results: hourly comparison, Rome, February, orientation South, room 5x7, window 3x2.

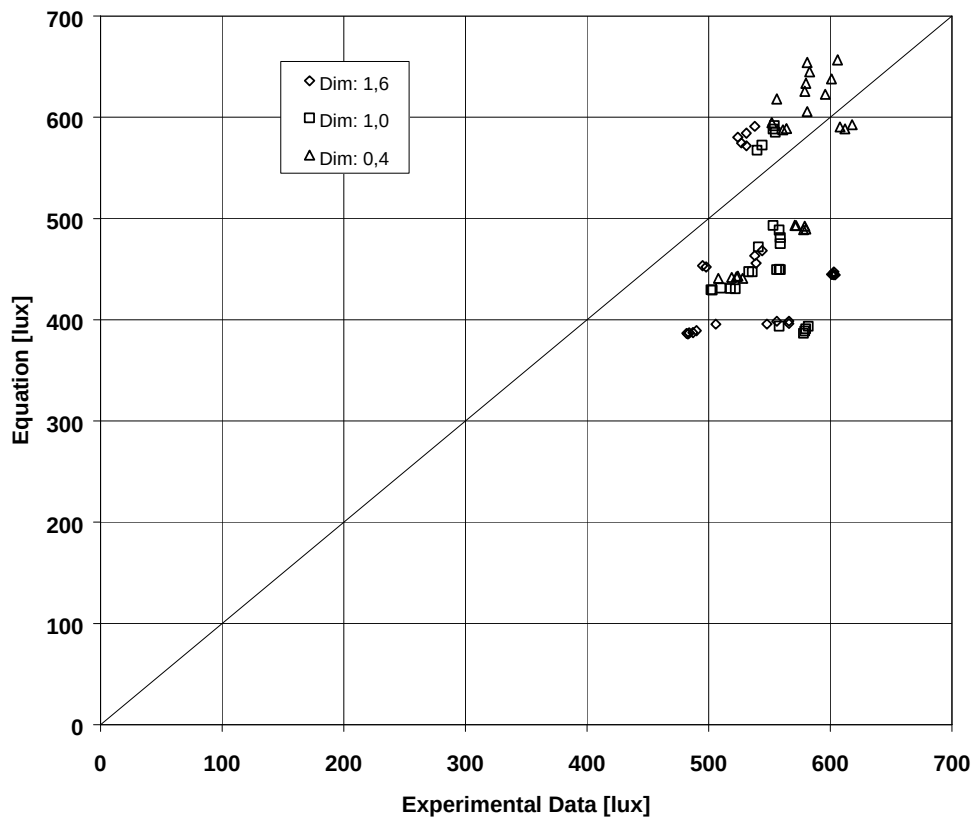


Figure 4 Formula versus Experimental Data results, South, June, $r=0.2$.

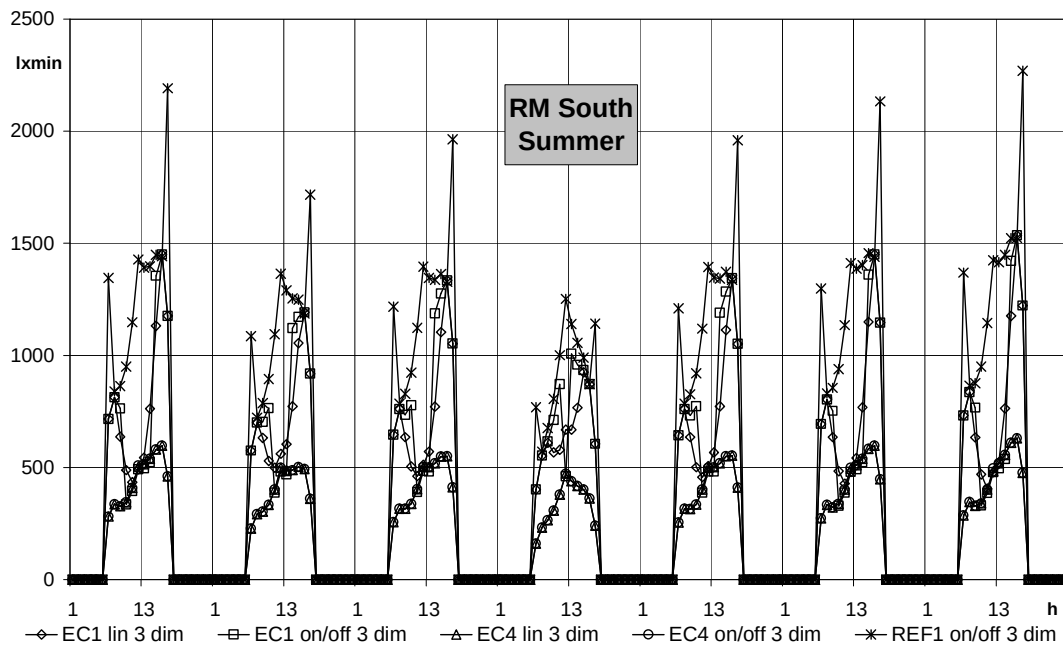


Figure 5 Lux trend in the darkest point due to daylighting during a typical week in summer, Rome South.

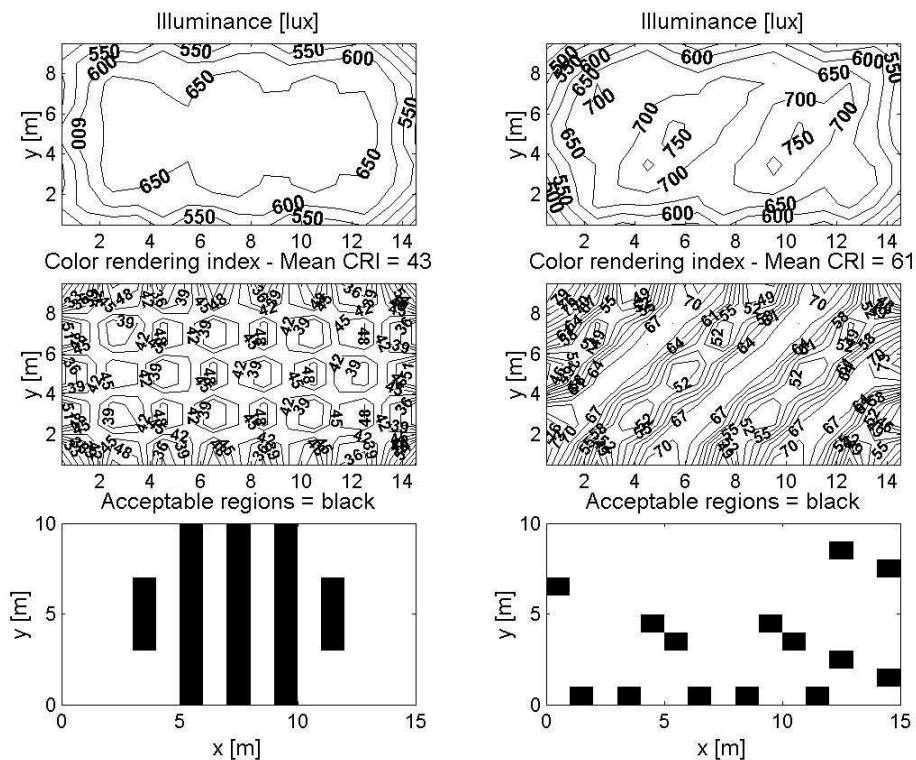


Figure 6 Illuminance, CRI distribution, work performance with MTLS (ratio 1:1, left, 1:2, right).

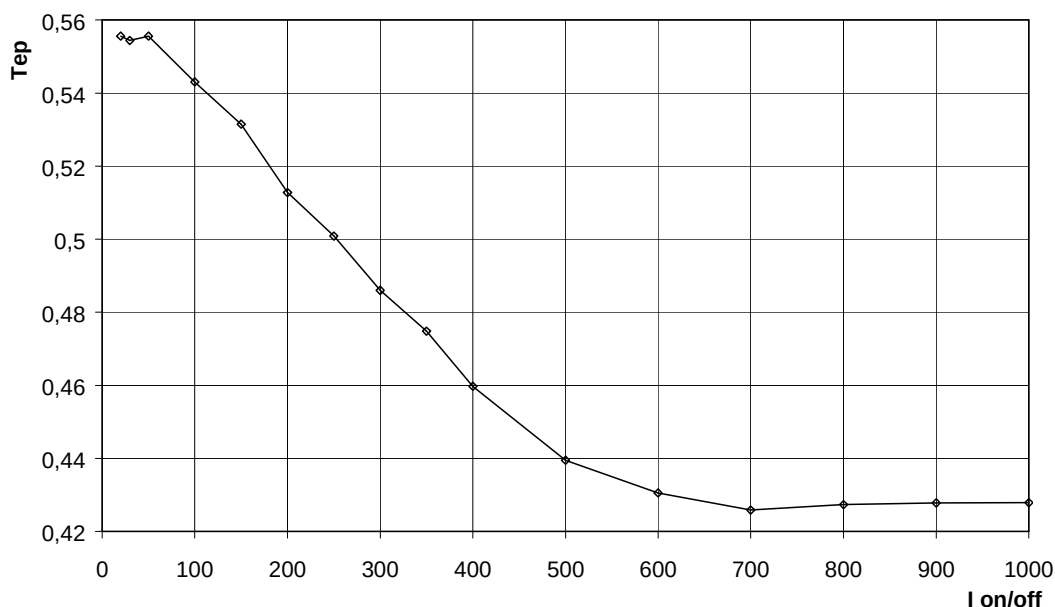


Figure 7 Primary energy total requirements for EC, natural light on/off strategy, Rome.

Franco GUGLIERMETTI

Professor, Director of the Department

Fabio BISEGNA, Ph.D.

Department of Fisica Tecnica

University of Rome "La Sapienza"

Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy

Phone: + 39. 6. 44585432

Fax: + 39. 6. 4880120

E-mail: franco.gugliermetti@uniroma1.it

fabio.bisegna@uniroma1.it



Franco Gugliermetti is full professor and chief of the Department of "Fisica Tecnica" at the University of Rome (Italy) "La Sapienza", where he graduated in 1972. He worked in different subject areas connected to the indoor air quality, to the acoustical and visual environment and to the elementary and applied aspects of the heat transfer.

Prof. Gugliermetti is author of more than 100 papers published in international and national magazines. He has been the coordinator and member of many national and international research groups supported by CNR, MURST, IEA and Italian and European Universities.



Fabio Bisegna, MEng and PhD at the Fisica Tecnica Department, University of Rome "La Sapienza", Italy graduated in 2000 with the degree thesis "A theoretical study for the development of the integrated energy analysis of non-residential buildings in Mediterranean climate: the influence of innovative transparent materials". He worked in several subject areas: environmental acoustics, energy savings and environmental quality in non-residential buildings, natural and artificial lighting. He is the author of more than 30 papers published in International and National Congresses and Journals.

Received 6 May 2003

Reviewers: Prof. Liisa HALONEN, Prof. Florin POP, Dr. Axel STOKMAR

ILUMINAT & ECONOMISIREA ENERGIEI

Câteva domenii de cercetare ale Departamentului Fizica Tehnică “La Sapienza”

1. Introducere

De mai mulți ani, Departamentul de Fizică Tehnică, Facultatea de Inginerie, Universitatea “La Sapienza” din Roma și, în special, Grupul pe probleme de mediu (FTEG) sunt implicați într-un program vast de cercetare privind îmbunătățirea sănătății, a confortului și a eficienței energetice din mediul interior și exterior. FTEG integrează competențele experimentale, analitice și de modelare în domenii privind iluminatul, acustica, ventilația, calitatea aerului din spațiile interioare (IAQ), confortul termic și eficiența energetică. Activitatea noastră vizează, de asemenea, îmbunătățirea sănătății și a productivității ocupanților încăperii și conștientizarea expunerii la factorii poluanți aflați în aerul din interior și exterior. În această lucrare vor fi prezentate doar activitățile legate în mod direct de lumină și iluminat.

FTEG este format din Prof. Franco GUGLIERMETTI, Director al Departamentului, Prof. Luciano SANTARPIA, Dr. Fabio BISEGNA și Dr. Paola GORI și doctoranzii Gianluca ZORI și Amalia GELFU.

Programul de energie și iluminat al FTEG include experiențele din domeniile privind iluminatul natural și artificial și eficiența energetică în clădiri printr-o analiză energetică integrată, ce include aplicarea și dezvoltarea standardelor și a codului construcțiilor. Principalele teme sunt proiectul instalației solare pasive, analiza materialelor de vitrare noi din punct de vedere al mediului și eficienței energetice, controlul activ și utilizarea eficientă ale iluminatului natural și artificial. Fiecare temă este studiată urmărind atât abordarea numerică, cât și cea experimentală. Scopul final este elaborarea unor proceduri, tabele și grafice pentru sprijinirea proiectanților în diferite etape ale procesului de proiectare și a unor instrumente de proiectare ușor utilizabile, algoritmi și coduri numerice pentru programe de simulare simple și avansate.

FTEG este un grup foarte activ, cu multe participări la congrese și conferințe naționale și internaționale și articole publicate în reviste științifice internaționale. Câteva din rezultatele activității științifice sunt prezentate într-o bibliografie sumară privind ultimii trei ani de

activitate (2001, 2002, 2003). Energia solară și controlul joacă un rol principal în aceste publicații, întrucât reprezintă un factor de atracție pentru fiecare din temele propuse, cum ar fi instalații de aer condiționat, iluminat natural, economisire de energie în clădiri și reprezintă un element de bază pentru crearea unui mediu confortabil în încăpere și pentru reducerea consumului energetic.

2. Iluminatul natural în spații subterane deschise

În mediul urban al orașelor mari sunt frecvent întâlnite spații subterane utilizate pentru diferite scopuri, cum ar fi parcuri, stații de metrou, coridoare subterane, centre comerciale, fiind mult redusă disponibilitatea spațiului la nivelul străzii. Aceste spații necesită suficientă lumină naturală (și ventilație) atât pentru a garanta un mediu agreabil cât și pentru a reduce consumul electric al sistemului de iluminat artificial. Cantitatea de lumină naturală necesară depinde de destinația spațiului respective. Valori recomandate pentru Factorul de Lumină Naturală - DF - pot fi realizate în cea mai mare parte a anului, întrucât lumina naturală din exterior este suficientă și poate fi mai mare decât 10.000 lx pentru cel puțin 3000 ore/an pentru mai multe țări din Europa. S-au făcut unele eforturi pentru a evalua și îmbunătăți performanțele conductelor, tuburilor și puțurilor de lumină utilizate în mod curent, pentru a garanta nivelurile acceptabile de lumină naturală în interiorul spațiilor subterane. Aceste studii utilizează diferite abordări bazate în principal pe simulări pe calculator și pe modele: pachetele cu software vin în sprijinul proiectanților, permițând o analiză precisă a datelor și variabilelor, modelele fizice combinate cu măsurări experimentale oferă un studiu detaliat cantitativ și calitativ al situațiilor similare, diferite totuși de realitate.

Au fost studiate câteva aspecte ale problemei: dimensionarea puțurilor de lumină prin modele la scară ale spațiilor deschise subterane cu niveluri multiple, economisirea energiei și ventilația naturală în conexiune cu puțurile de lumină prin compararea măsurărilor pe model cu simulărilor numerice, validarea rezultatelor prin compararea rezultatelor obținute pe modelul la scară în condiții reale de

cer noros și a simulărilor pe calculator cu cele determinate în spațiile reale subterane [1, 2, 3, 4, 5]. Figura 1, în care X/W este un factor adimensional legat de lungimea deschiderii externe și H/W este Indicele Puțului care reprezintă raportul dintre aria peretelui reflectant și aria deschiderii libere a puțului, prezintă un exemplu al ultimului tip de comparație prezentat mai sus. Totodată s-au prezentat câteva diagrame experimentale de calcul al DF local pentru spații subterane cu niveluri multiple. Ceea ce s-a demonstrat este că parametrul principal ce influențează DF este lățimea puțului, componenta iluminării dată de cer este dominantă față de componenta reflexivă în zonele din apropierea puțului. Metoda propusă pentru dimensionarea puțului se bazează pe iluminare și pe durata anuală necesară a luminii naturale exterioare, în timp ce orbirea, neuniformitatea și distribuția iluminării nu s-au luat în considerare în mod direct și sunt încă sub analiză, întrucât depind de caracterul activității desfășurate.

3. O propunere pentru un model adimensional al mediului vizual

În diferite etape ale procesului de proiectare a unei clădiri se pot utiliza în mod avantajos programe de analiză energetică simplificate sau avansate, pentru a optimiza, coordona și alege între diferitele strategii și sisteme de control al luminii disponibile. Deseori, simulările complexe nu sunt corespunzătoare pentru a contura strategiile de bază privind iluminatul natural într-o primă abordare și pentru a rezolva ușor problemele ce apar frecvent. În același timp, poate fi util să se simplifice la maximum evaluările iluminatului pentru a reduce, pe de-o parte, durata de derulare a programului de calcul avansat și, pe de altă parte, pentru a avea instrumente simple de utilizare în primele faze ale proiectării. Cerințele pentru o evaluare rapidă a performanței, pentru o introducere ușoară a datelor de intrare, pentru o posibilitate de schimbare ușoară a strategiilor de control și a datelor meteorologice sunt întotdeauna importante. Deși procedurile de modelare s-au simplificat în ultimii ani, aceste instrumente de

lucru necesită încă o modelare detaliată, putere de calcul mare și cunoștințe profunde ale programelor, fiind încă departe de a fi eficiente în cost și consum de timp. Calculul nivelurilor de lumină naturală în interior când se consideră un scenariu dinamic este una din sarcinile cele mai mari consumatoare de timp ale acestor programe avansate care sunt capabile să evalueze integrarea aspectelor luminoase și termice în analiza energetică globală a clădirii. Soluția cea mai des utilizată este de a preprocesa datele privind iluminarea înainte de a introduce calculele termice.

Scopul acestei cercetări este de a dezvolta o abordare numerică simplă pentru studiul aspectului dinamic al iluminării naturale în interior prin parametri adimensionali care să caracterizeze aspectele geometrice ale ferestrei și spațiului interior pe durata întregului an, analizându-se punctele particulare ale încăperii, alese în funcție de caracteristicile sistemului de control al iluminatului. Această abordare poate simplifica mult calculele iluminării dinamice. Parametrii K - raportul dintre lungimea și înălțimea ferestrei și S - raportul dintre ariile ferestrei și încăperii sunt utilizați pentru caracterizarea aspectelor geometrice ale ferestrelor și încăperilor. S-au dezvoltat diferite corelări între câțiva parametri, după un model numeric. S-a obținut o confirmare experimentală a tuturor rezultatelor simulărilor în diferite condiții ale cerului pe un model la scara 1:5 - Figurile 2 și 3. Din analiza rezultatelor reiese că valorile obținute pentru iluminările obținute de la radiația solară directă sau difuză sunt ușor de evaluat pentru diferite valori ale parametrilor K și S , o dată ce aceste corelații s-au determinat pentru un singur caz, atât pe parcursul unui an întreg cât și în cursul unei zile. Același lucru se întâmplă când se consideră componenta reflectată a radiației directe și difuze a soarelui.

Se pot obține toate rezultatele aparținând altor parametri K_i prin aplicarea unei formule simple de tipul $K_i = mK_1$, unde K_1 este considerat element de referință. Scopul final îl constituie elaborarea unor reguli și proceduri pentru o metodă optimizată de proiectare și realizare a unor instrumente de calcul pentru algoritmi de iluminare utilizați în programe de

analiză energetică în clădiri simple și avansate. Cu toate acestea, scopul de a integra toate variabilele posibile pentru a obține o metodă de calcul suficient de flexibilă pare să fie deja îndeplinit, deși cercetarea este încă în derulare [6, 7, 8].

Complexitatea problemei ce se datorează prezenței unor parametri cum ar fi latitudinea, orientarea și anotimpul impune realizarea unor cercetări viitoare numerice și experimentale, pentru ambele tipuri de cer, real și artificial, de la complet înnorat la complet senin, pentru obținerea unor rezultate cu aplicabilitatea universală.

4. Evaluarea dinamicii iluminării în spațiul interior cu dispozitive exterioare de umbrire

Opțiunea proiectanților este de a realiza proiecte eficiente din punct de vedere energetic ale sistemelor și subsistemelor clădirilor și de a garanta un nivel ridicat al confortului interior. Pentru alegerea soluțiilor de proiecte eficiente din punct de vedere energetic, este important să se considere managementul integrat al cerințelor vizuale și termice, ținându-se cont de implicațiile luminoase și termice ale strategiilor de iluminat natural. Scopul final îl reprezintă utilizarea la maxim a luminii naturale și în consecință reducerea utilizării luminii artificiale și, în același timp, prevenirea fenomenului de orbire. Din acest punct de vedere, controlul radiației solare este necesar pentru crearea unui mediu confortabil în încăperi și pentru minimizarea consumului de energie. Dispozitivele de umbrire exterioare sunt ieftine și reprezintă soluții simple pentru prevenirea pătrunderii nedorite a căldurii prin ferestre în perioade cu temperaturi ridicate și a orbirii cauzate de lumina directă de la soare. Totodată, ele protejează împotriva ploii și asigură o “fațadă sculptată” a clădirilor. În același timp, ele reduc cantitatea de lumină naturală ce intră în încăpere, determinând mărirea puterii electrice datorată sistemului de iluminat. Astfel, proiectarea unei componente optime este inevitabil un compromis între cerințele de confort vizual și termic.

Scopul acestei cercetări este de a dezvolta proceduri simple de evaluare a mediului vizual,

de elaborare a unor metode ușor utilizabile pentru simplificarea calculului iluminării în punctul cel mai întunecat al planului de lucru orizontal într-un birou, atunci când este instalat un dispozitiv exterior de umbrire. Acestea pot fi considerate ca instrumente de lucru în primele faze ale proiectării sau proceduri simple de calcul pentru evaluarea rapidă a iluminării minime naturale din interior, atunci când sunt utilizate dispozitive exterioare de umbrire și sisteme de control al iluminatului, reducându-se astfel timpul de lucru sau numărul de simulări necesare al programelor de calcul al iluminatului natural, precum și al programelor pentru analiza energetică în clădiri avansate

S-a propus o formulă simplă bazată pe o evaluare rapidă a iluminării totale în interior în punctul cel mai întunecat al încăperii rezultată din contribuția a două componente diferite, una orizontală directă dată de raportul dintre suprafața însorită și suprafața totală a ferestrei și, respectiv, radiațiile solare difuze, ambele fiind exprimate prin Eficacitate Luminoasă a Sistemului Solar. Eficacitatea formulei a fost testată la simulări și măsurări experimentale pe un model la scara 1:5, dovedind încredere atât la utilizarea ei în aplicații numerice cât și în proiectare, cu erori pentru ambele cazuri cuprinse între 10-18% - Figura 4 [9, 10, 11, 12].

Posibilitatea de extindere a cercetării este legată de individualizarea parametrilor adimensionali, ducând înapoi la analiza descrisă anterior: o dezvoltare de noi ecuații pentru a fi utilizate în analiza energetică integrată, precum și elaborarea unor proceduri de proiectare ar fi consecințele naturale ale unei investigații viitoare.

5. Materiale de vitrare inovatoare

Industria ultimilor ani a dezvoltat și produs diverse tipuri de materiale transparente și sisteme de control al iluminatului pentru a îmbunătăți designul și exploatarea clădirilor pentru a obține un beneficiu maxim din potențialul de economisire a energiei datorită iluminatului natural.

În prezent sunt disponibile acoperirile transparente cu selecție spectrală pe substraturi

de sticlă sau polimerice. Posibilitatea de producere a filmului omogen subțire pe suprafețe mari, cu comportament spectral diferit, asigură produse de energie scăzută ("low-e") competitive pentru numeroase aplicații. La nivelul tehnologic actual, alternativele pentru ferestre cu transmitanță redusă sunt: aerogeluri cu dioxid de siliciu, materiale izolatoare transparente (TIM) și vitrare cu vid, care oferă posibilitatea de a obține performanțe termice ridicate. Posibilitatea de a combina valori de transmitanță reduse cu transmiterea difuză a luminii solare permit, de asemenea, controlul strălucirii și aplicații de iluminat natural în aceleași tipuri de TIM și aerogeluri. În plus, anvelopele clădirilor realizate cu ferestre "dinamice", a căror transparentă se modifică cu ajutorul dispozitivelor ElectroCromic (EC) care își pot schimba proprietățile optice ca răspuns la parametrii de control, pot reprezenta un mod de îmbunătățire atât pentru calitatea mediului cât și pentru eficiența energetică. Diferite sisteme de ferestre cu vitrare dublă sunt disponibile în comerț la dimensiuni de până la 2 m². Astfel, posibilitatea de a integra materiale transparente EC în ferestrele clădirilor, ca parte a sistemelor de control al iluminatului comerciale, este în prezent foarte promițătoare.

Pe de altă parte, sistemele de control al iluminatului capabile să regleze atât parametrii electrici și de iluminat, cât și lumina naturală, sunt recunoscute ca fiind foarte importante în clădirile non-rezidențiale, deoarece iluminatul artificial este unul din consumatorii majori de energie și poate influența dimensiunea subsistemului de climatizare (HVAC) și vârful de consum electric. Sistemele de control urmăresc să beneficieze de avantajul luminii naturale pentru a realiza atât economii de energie cât și condiții acceptabile de mediu. Sunt utilizate diverse tipuri de strategii de management și echipamente. Diferite sisteme, de la controlul automat al mini-jaluzelelor interioare până la jaluze exterioare rulante de mari dimensiuni, sunt disponibile și uzuale datorită posibilității de ajustare a acestora și capacității de reflectare a luminii: un semnal de la un fotosenzor deschide sau închide jaluzelele, în funcție de lumina naturală disponibilă.

Principiile sistemelor de control automat trebuie integrate cu atenție în principiile de control al iluminatului electric, pentru a evita condițiile instabile în mediul luminos. Sistemul de control al iluminatului artificial asigură cantitatea de lumină necesară atunci când este cazul, reducând consumul de energie electrică. Sistemele de control fotoelectrice funcționează în prezent cu algoritmi care pot realiza fie un control integral cu buclă închisă, fie proporțional cu buclă deschisă. Aplicând diferite abordări și strategii (urmărirea iluminatului natural, strategia de compensare a luminii naturale, strategia de menținere a fluxului luminos) iluminatul electric este diminuat sau întrerupt pentru a corespunde cu necesarul de iluminare.

Studiile efectuate de FTEG urmăresc să analizeze, printr-o abordare integrată vizuală-termică, necesarul energetic al spațiului și calitatea mediului corelate cu utilizarea materialelor avansate de vitrare, care par mai potrivite pentru aplicații în construcții atunci când sunt combinate cu sisteme adecvate de control al iluminatului. În acest scop a fost dezvoltat și validat un program avansat pentru analiza energetică integrată a clădirilor, IENUS (Integrated ENergy Use Simulation), capabil să rezolve diverse probleme legate de alegerea materialelor inovatoare, date climaterice, sisteme și strategii active și pasive de control al iluminatului. [...]

5.1 Aspecte de mediu: cercetare, rezultate și dezvoltări viitoare

Managementul inteligent înseamnă nu numai asigurarea cantității necesare de lumină, ci și un aport maxim de lumină naturală, îmbunătățind calitatea mediului vizual și reducând consumul electric pentru iluminat artificial; pentru a crea un mediu confortabil în încăperi, controlul luminii solare este un factor de bază.

Aspectele vizuale legate de diverse strategii de control al iluminatului artificial, aplicate la clădiri de birouri în climat mediteraneean au fost analizate numai pentru sisteme EC, cu scopul de a compara randamentul diverselor sisteme în administrarea luminii naturale și a luminii artificiale pentru a obține un mediu

luminos confortabil prin aport maxim de lumină naturală, garantând valoarea constantă de iluminare pe planul de lucru, evitând strălucirea, și, în același timp, asigurând maxim de economii energetice. [...] Studiile arată că latitudinea, orientarea și sistemul ferestrelor, strategia de control al iluminatului natural influențează procentul anual al iluminării în punctul cel mai întunecat al planului de lucru, și, în consecință, alegerea întregului sistem de control al iluminatului. În plus, un sistem tradițional de ferestre având o transmitanță solară și vizuală bună și o strategie de control al iluminatului natural de tip închis/deschis necesită în general prezența continuă a draperiei, determinând o închidere completă pe durata zilei și, în consecință, existând riscul de “izolare” pentru ocupanți, făcând, în același timp, inutil iluminatul artificial. Iată de ce un sistem mai complex prezintă o tendință mai deosebită, datorită transmitanței variabile și abilității de a modula lumina naturală (Figura 5). Există o comportare duală între aspectele randamentului energetic și al confortului care necesită o analiză mai aprofundată [13, 14, 15, 16].

Aceasta se întâmplă când se consideră parametrii de prim nivel, ceea ce înseamnă fixarea valorilor minime pentru iluminare pe planul de lucru și evitarea strălucirii; cantitățile colorimetrice în distribuție spațială reprezintă, în schimb, un exemplu de parametru de nivel secundar corelat cu Indicele de redare a culorii (CRI) și Temperatura corelată a culorii (CCT) ale surselor de lumină; de asemenea parametrii de acest tip trebuie luați în considerare datorită creșterii cererii pentru un mediu confortabil și creșterii complexității funcționale a spațiilor. Oricum, studiul aspectelor cromatice trebuie dezvoltat nu numai pentru materialele de vitrare noi, dar și când spațiile sunt prevăzute cu tipuri diferite de lămpi (Sistem cu Lămpi de Tipuri Multiple, MTLs), sau cu sisteme de iluminat artificial destinate integrării luminii naturale (Lumină Artificială Suplimentară Permanentă pentru Interior, PSALI). Un exemplu de situație în care se utilizează un MTLs (50 W lămpi cu sodium de înaltă presiune/100 W lămpi cu halogen) este prezentat în Figura 6 pentru un magazin: iluminarea este asigurată permanent pe planul

de lucru; CRI mediu satisface standardul CIE, dar nu este asigurat comportamentul colorimetric acceptabil, fapt evidențiat prin regiunile albe [17, 18].

Sunt necesare mai multe căi de dezvoltare în acest domeniu: analize amănunțite, pe de o parte, pentru a stabili caracteristicile sistemelor de control al luminii naturale și artificiale și, respective, din punctul de vedere al mediului, încercând de asemenea determinarea parametrilor de control de mediu; pe de altă parte, aprofundarea aspectelor cromatice spațiale și a calității vizuale într-un mediu interior, pentru a îmbunătăți confortul ocupanților. Investigații numerice și experimentale vor determina caracteristicile MTLs și vor permite elaborarea unor recomandări de proiectare pentru corelarea materiale de vitrare noi cu sistemele MTLs și PSALI, cu geometria spațiului și cu lămpile potrivite.

5.2 Aspecte privind eficiența energetică: cercetare, rezultate și dezvoltări viitoare

Aspectul eficienței energetice ia în considerare cerințele energetice în totalitate sau parțial (încălzire, răcire și iluminat) pentru o încăpere de birou tipică în climat mediteraneean, când sunt utilizate diferite strategii pentru controlul luminii naturale și artificiale în combinație cu sisteme inovative de iluminat. Strategia închis/deschis a fost propusă pentru controlul draperiei interioare, strategii închis/deschis și liniare au fost luate în considerare pentru sistemele EC și strategii închis/deschis, liniare (reducere) cu luarea în considerare a interacțiunii ocupanților au fost studiate pentru a stabili caracteristicile de comportament al sistemului de iluminat artificial.

Studiile au evidențiat importanța atât a proprietăților optice ale sistemelor de vitrare cât și a strategiei pentru sistemul de control al iluminatului, precum și influența negativă a interacțiunii ocupanților. Pentru sistemele EC au fost evaluate valorile optime de randament energetic pentru parametrii de control, pentru a reduce la minim consumul de energie, fiind făcută o singură propunere de utilizare a criteriilor de mediu pentru alegerea acestor valori - Figura 7 [20, 21, 22, 23, 24].

Sunt încă în studiu dezvoltările referitoare la integrarea sistemelor de control active și pasive, care ar putea conduce la rezultate interesante. [...] Sunt necesare testări experimentale ale tuturor materialelor de vitrare inovatoare, din punct de vedere optic și termic, precum și prin aplicarea acestora pe modele la scară și în camere reale pentru a verifica posibilitatea și eficiența combinației cu diverse strategii noi de control.

6. Zile meteorologice pentru proiectarea sistemului Încălzire-Ventilare-Climatizare (HVAC)

Alegerea condițiilor exterioare termohidrometrice de referință pentru evaluarea sarcinii termice și dimensionarea stațiilor HVAC este o decizie tehnică foarte importantă în dezvoltarea proiectului HVAC. [...] Sunt disponibile mai multe standarde pentru alegerea procedurilor de proiectare care în general conduc la Zilele de Referință pentru Proiectare (DRD); în clădirile comerciale și de birouri proiectate după criterii de randament energetic este destul de dificilă dimensionarea sistemelor HVAC cu considerarea DRD, deoarece cu greu se pot prevedea sarcinile termice de vârf ale HVAC; acesta devine un aspect critic când se utilizează materiale transparente inovatoare și sisteme de control al luminii naturale și artificiale.

O DRD este în general construită pe baza intervalelor termice medii și a factorilor de distribuție a temperaturii și nu prezintă corelările statistice dintre datele meteorologice. O soluție alternativă poate fi Ziua Metodologică de Proiectare (DMD - Design Methodological Day): este ziua istorică reală selectată dintr-o serie de zile dintr-un an la poate să se raporteze cerițele de energie maxime pe baza valorii unui parametru, temperatura echivalentă, definită ca o combinație între cei mai semnificativi parametri de exterior ce influențează comportamentul termic al cădirilor, temperatura, temperatura de saturație și radiația solară totală. O DMD poate fi selectată (a) pe baza unui criteriu de mediu în condiții climatice severe, temperaturi foarte scăzute și, în consecință, acest tip de selecție va asigura funcționarea

sistemelor și stațiilor cu număr maxim de ore pe an cu sarcină parțială și, deci, cu randament energetic global scăzut, sau (b) urmând un criteriu de optimizare a energiei, alegând condiții climatice mai puțin severe, capabil să asigure stații mai mici care să funcționeze perioade mai lungi de timp în condiții de performanță maxime, obținându-se astfel o creștere globală a eficienței energetice a sistemului de stații ale clădirii [25, 26].

[...] Efectele date de factorii climatici pierd din semnificație pe timp de iarnă deoarece câștigul de căldură internă datorat sistemului de iluminat artificial este foarte important; astfel, influența orientării peretelui exterior este în principal cauzată de factorii de lumină naturală [27, 28] [....]

7. Concluzii

Unul dintre cele mai relevante aspecte ale cercetării este faptul că nu prezintă limite: nu există un punct de sosire, odată acceptată existența unui punct de pornire. Libertatea minții în confruntarea cu orice combinații de probleme este cea care conferă cercetătorului puterea de a accepta fiecare provocare și de a lupta împotriva oricărei dificultăți. Aceeași necesitate o reprezintă diseminarea corectă și precisă a rezultatelor și cunoștințelor la orice nivel, fie el științific sau public. Depășirea limitelor comunicării științifice este un pas important și trebuie subliniată importanța dezvoltării unei rețele de contacte naționale și internaționale ce permit cercetătorilor sau grupurilor de cercetători să cunoască, compare și coopereze cu cercetători din aceeași țară și din alte țări.

[...] Lucrarea prezintă câteva cercetări în diferite stadii de dezvoltare din domeniul luminii și iluminatului, iar altele sunt prefigurate, ca de exemplu demararea investigației privind responsabilitatea refectanței în evaluarea poluării luminoase nocturne, comportamentul uman și influența asupra strategiilor de control al iluminatului artificial și dispozitive de umbrire interioară, dezvoltarea aparatelor de iluminat inovatoare, controlul mediului ambient al muzeelor, în special degradarea picturilor provocată de iluminatul și alte domenii de cercetare.

Progresul trece prin cercetare și prin efortul multor cercetători din întreaga lume: cooperarea reprezintă o cheie foarte simplă de a deschide ușile creșterii mai rapide către o lume mai bună, mai potrivită și mai susținută.