

La progettazione tecnologica degli edifici *safety critical*: una ricerca applicata

Erminia Attaianese erminia.attaianese@unina.it
Gabriella Duca duca@unina.it

Abstract. L'articolo presenta una ricerca applicata finalizzata alla progettazione esecutiva del centro di controllo di una raffineria in Marocco. Scopo principale è stato lo sviluppo di un progetto architettonico la cui realizzazione conducesse a prestazioni ottimali per gli operatori responsabili delle attività di monitoraggio, minimizzando il rischio di errore umano e massimizzando l'affidabilità e la continuità del servizio erogato. Vengono descritti l'approccio metodologico e i risultati dello studio, illustrando come le esigenze dell'utenza derivanti dalle mansioni lavorative, con l'insieme delle norme cogenti e volontarie di riferimento, abbia portato all'identificazione di specificazioni tecniche che traspongono i requisiti *safety critical* in dettagli architettonici.

Parole chiave: Standard, Progetto esecutivo, Performance design, Processo di progettazione, Centro di controllo

RICERCA/RESEARCH

Introduzione

Numerosi studi dimostrano l'esistenza di una correlazione tra prestazioni dell'edificio e *performance* umana, che determina significativi effetti sull'efficace ed efficiente esecuzione dei compiti lavorativi (Clemens-Croome, 2004). Il problema del controllo delle prestazioni dell'edificio, attese o in atto (Volker e Prins, 2005), è particolarmente rilevante nei contesti *safety critical*, quali quello militare, nucleare, medico o dei trasporti. In tali contesti, ambienti inadeguati possono contribuire a determinare danni alle persone o all'ambiente a causa della potenziale riduzione della *human performance* (Noyes, 2001), così come ampiamente riconosciuto nell'ambito degli studi sull'errore umano¹ (Reason, 1990). In questi casi, è necessario adottare un approccio progettuale teso a minimizzare il gap fra esigenze degli utenti, derivanti dalle caratteristiche delle loro mansioni e dalle prestazioni complessive dell'ambiente di lavoro.

Nel caso specifico dei centri di controllo, le attività consistono in azioni di supervisione centralizzata di sistemi complessi, mediante *distributed control technologies*. Il progetto di un *control center* è parte del progetto di un più ampio sistema uomo-macchina-ambiente, il cui scopo è quello di effettuare controlli minimizzando i potenziali margini di errore umano.

Erminia Attaianese

LEAS – Laboratorio Ergonomia Applicata e Sperimentale, Università degli Studi di Napoli Federico II, I

Gabriella Duca

LEAS – Laboratorio Ergonomia Applicata e Sperimentale, Università degli Studi di Napoli Federico II, I

Architectural design and technology in safety critical buildings: an applied research

Abstract. The paper presents an applied research concerning the architectural detailing project of a refinery control centre in Morocco. The project was aimed at delivering the most appropriate control room conditions for the operators in charge of the supervision, so that they could operate in the best possible environmental performances, minimizing human errors and maximizing reliability and availability of facility operations in their whole. The paper describes methodological approach and results of the study, discussing how users' needs and expectations resulting from analysis of job activities, together with a wide set of applicable technical standard and regulations, have brought to technical specifications integrating safety critical requirements into architectural detailing.

Key words: Standard, Architectural detailing, Performance design, Design process, Control center

Introduction

Most recent advancements in built environment research have shown the relevance of the correspondence of buildings overall performances for human performances in accomplishing working tasks (Clements-Croome, 2004). Given the general awareness of the need to control expected and running performances of buildings (Volker and Prins, 2005), the problem of work environments quality is particularly relevant in safety critical contexts. In those situations, inadequate workspaces may cause damages for human life and/or environment due to a potential reduction of human performance (Noyes, 2001), as widely acknowledged in the field of human error¹ (Reason, 1990).

**Un caso studio
research driven: il
progetto esecutivo del
centro di controllo di
una raffineria**

**Il background del
progetto**

Nel gennaio 2007 al Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura (DICATA) dell'Università di Napoli Federico II è stato commissionato lo studio «Samir – Morocco – Upgrade Project- Ergonomic Study» dalla EsseTi, società di ingegneria business partner di Snamprogetti e Tekfen². Lo stabilimento Samir di Mohammedia, in Marocco, è una raffineria a ciclo continuo, il cui cuore è il Main Control Building, dove gli operatori gestiscono tutte le informazioni necessarie al controllo e monitoraggio dell'impianto. Scopo del progetto, che ha riguardato una *Operator Room*, tre *Supervisor Room* e una *Engineering Room*, era la realizzazione di un edificio in grado assicurare gli elevati livelli di affidabilità sottesi alla continuità e delicatezza delle funzioni di controllo minimizzando, nello stesso tempo, il carico di lavoro del personale. A tale scopo, lo studio ha contestualizzato al caso specifico i parametri ergonomici da implementare secondo le indicazioni dei numerosi standard di riferimento.

La ricerca/progetto è stata sviluppata in tre *milestone*, in accordo con le richieste della committenza:

- Milestone 1: Identificazione dei requisiti e delle specifiche tecniche per i particolari compiti di controllo alla scala dell'edificio e messa a punto dei relativi disegni tecnici di dettaglio.
- Milestone 2: Identificazione dei requisiti e delle specifiche tecniche per i particolari compiti di controllo alla scala delle unità ambientali e messa a punto dei relativi disegni tecnici di dettaglio.
- Milestone 3: Verifica della conformità delle scelte di progetto agli standard normativi, per ognuno dei sottosistemi identificati, in rapporto sia al sistema tecnologico che a quello ambientale, attraverso *check list*, matrici di raffronto e *virtual tour*.

Il Laboratorio di Ergonomia Applicata e Sperimentale del DICATA ha sviluppato il progetto, costituendo un gruppo di lavoro multidisciplinare ad hoc³, nel rispetto di tempi e costi del progetto internazionale complessivo.



01 | Veduta aerea dell'impianto di raffinazione Samir di Mohammedia (Marocco)

Aerial view of the Samir refinery in Mohammedia (Morocco)

**Il quadro dei
riferimenti normativi
volontari e cogenti**

L'esigenza di integrare l'ambito dell'ergonomia con quello della tecnologia dell'architettura, unita alla complessità del sistema di norme volontarie e cogenti, nazionali e internazionali da applicare, ha connotato il progetto come ricerca applicata.

Il principale riferimento normativo è l'insieme di standard ISO

In the specific case of control centers, work activities consist in supervising the running of complex systems, by mean of distributed control technologies.

A control centre project is part of a design for a larger system, based on specific objectives and goals of the control, with the view to eliminating or minimizing the potential for human errors. In order to achieve this goal, applicable standards specify that control centers have to be designed applying a human-centered approach focusing on specific controls to be carried out.

The human-centered design (ISO 13407, 1999) considers the combination of humans and machines, in its organizational and environmental context, as an overall system to be optimized (ISO 11064/1, 2000).

A research driven design case: the architectural detailing of a refinery control centre

Background of the project

In January 2007 the department DICATA of University of Naples Federico II was asked to provide its expertise in ergonomics to the «Samir – Morocco – Upgrade Project – Ergonomic Study» to be released by EsseTi engineering company, a Snamprogetti and Tekfen business partner².

Mohammedia Samir plant is a refinery running 24/24h. The centre of the operation is the Main Control Building, where all data are made available for control and monitoring purposes. Rooms covered by the ergonomic study are 1 Operator Room, 3 Supervisor Rooms and 1 Engineering Room. The project was aimed to deliver a building supporting

11064, secondo cui la progettazione di tali edifici deve essere intesa come parte di un più ampio progetto dell'intero sistema di lavoro, le cui caratteristiche devono essere rispondenti a capacità umane, limitazioni e bisogni di chi li dovrà utilizzare.

Il quadro completo degli standard volontari e cogenti di riferimento è il seguente:

a. Standard volontari nazionali e internazionali vincolanti per il *general contractor*:

- BSR/HFES 100, Factors Engineering of Computer Workstations, 2002.

- EN 423/2002, Resilient floor coverings – Determination of resistance to staining.

- ISO 11064 Ergonomic design of control centres (Part 1, 2000; Part 2, 2000; Part 3, 1999; Part 4, 2004; Part 6, 2005).

- ISO 6385, Ergonomic principles in the design of work systems, 2004.

- ISO 9241, Ergonomics Requirements for Office work with Visual Display Terminals (VDTs): Part 5: Workstation Layout and Postural Requirements, 1998.

- ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.

- NF EN 61547, Equipment pour l'éclairage à l'usage general – prescriptions concernant l'immunité CEN, 1996.

- NF EN ISO 14738, Safety of machinery. Anthropometric requirements for the design of workstations of machinery, 2003.

- NF X 08-004, Couleurs. couleurs d'ambiance pour les lieux de travail, 1975.

- NF X35-103, Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail, 1990.

- UNI EN 12825, Raised access floors, 2003.

- UNI EN 1815, Resilient and textile floor coverings - Assessment of static electrical propensity, 1999.

- UNI EN 429, Resilient floor coverings. Determination of the thickness of layers, 1994.

b. Leggi nazionali:

- Décret n° 88-405 du 21 avril 1988 portant modification du code

the high reliability and availability of the whole facility operations, minimizing personnel involvement and maximizing its reliability. The ergonomic study was requested to define the most appropriate work environment for the operators in charge of the supervision. The study had to support the implementation of the general requirements coming from the applicable standards into the specific context.

Three milestones with related outputs for research/design development were established, as follows:

a. Milestone 1: Requirements and technical specifications specifically elicited for expected control tasks at building scale; drawings of architectural detailing.

b. Milestone 2: Requirements and technical specifications specifically elicited for expected control tasks at

room layout and desk scale; drawings of layout and rack details, ergonomic recommendations handbook with standard and regulation references.

c. Milestone 3: Verification of standards and regulations compliance for each technical and environmental identified subsystem, by check lists, tables and virtual tour.

The Laboratory of Applied and Experimental Ergonomics established at the DICATA, was charged to carry out the job, setting up a purposed multidisciplinary team. The whole job was carried out fully complying timing and costs of the international project as well as getting the milestones approval by all project partners.

The standards and regulations framework

The presented design case was conducted under a research perspective

not only for the need of integrating ergonomic know-how with architectural design and technology, but also because of the complex system of international standards and regulations that had to be complied in the site according to both national worksite laws and best practices recalled in the general contractor agreement.

The main applicable standard reference is the multipart ISO 11064, supporting the application of the ergonomic general approach to the design, redesign or refurbishment of control centers.

The complete framework of standard and regulation references is given below:

a. Contractual international and national voluntary standards

- BSR/HFES 100, Factors Engineering of Computer Workstations, 2002.

- EN 423/2002, Resilient floor coverings – Determination of resistance to staining.

du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et relatif à la protection des travailleurs contre le bruit + Article R 232 - 8 - 7 c. Mohammedia Upgrade Project – Internal documentation.

Integrare l'ergonomia nella progettazione esecutiva del centro di controllo

Principi di ergonomia e fattore umano per la progettazione esecutiva

L'ergonomia o *Human Factors* studia le interazioni che si stabiliscono fra l'uomo e qualsiasi altro elemento di un sistema. Essa considera tutti gli aspetti che determinano il modo in cui le persone operano e si relazionano con le diverse componenti fisiche e organizzative di un sistema nello svolgimento di un compito. Da ciò deriva che le attività umane possono essere condotte in modo sicuro ed efficiente anche grazie alle caratteristiche dell'ambiente architettonico in cui queste sono ospitate (Burgess, 1981; Aas e Skramstad, 2010). Centrato sull'interazione uomo-sistemi, l'approccio ergonomico alla progettazione architettonica consente di prefigurare gli effetti complessivi dell'ambiente sulle persone che lo utilizzano, superando il ricorso a riferimenti stereotipati sull'uomo e le sue attività che, di fatto, non riflettono la realtà (Attaianese e Duca, 2010).

Il progetto è stato condotto secondo i seguenti *step*:

- analisi delle attività di controllo e supervisione e studio delle condizioni ergonomiche ad esse relative, assicurate dalle caratteristiche architettoniche della control room; definizione dei requisiti ergonomici di progetto
- definizione delle specifiche tecniche per gli aspetti ergonomici del sistema di illuminazione, dei materiali e dei colori delle finiture architettoniche, dei sistemi HVAC, identificati in chiave integrata
- definizione delle caratteristiche ergonomiche del layout della *control room* e degli spazi pertinenziali, in riferimento alla raggiungibilità e alla visibilità dei dispositivi di comando e controllo da impiegare
- controllo della corrispondenza tra l'insieme delle performance ergonomiche attese, così come previste nel progetto architettonico, specifiche tecniche e caratteristiche dei compiti lavorativi.

Task analysis delle attività di lavoro nella sala di controllo

Il dettaglio dei compiti di controllo da espletare è stato analizzato effettuando un'accurata *task analysis*, procedura che, scomponendo uno o più compiti in azioni elementari, descrive esattamente come le azioni vengono svolte e in quali condizioni l'obiettivo di ciascun compito è raggiunto (Attaianese e Duca, 2010). I dati raccolti in

– ISO 11064 Ergonomic design of control centres (Part 1, 2000; Part 2, 2000; Part 3, 1999; Part 4, 2004; Part 6, 2005).
 – ISO 6385, Ergonomic principles in the design of work systems, 2004.
 – ISO 9241, Ergonomics Requirements for Office work with Visual Display Terminals (VDTs): Part 5: Workstation Layout and Postural Requirements, 1998.
 – ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.
 – NF EN 61547, Equipment pour l'éclairage à l'usage general – prescriptions concernant l'immunité CEN, 1996.
 – NF EN ISO 14738, Safety of machinery. Anthropometric requirements for the design of workstations of machinery, 2003.

– NF X 08-004, Couleurs. couleurs d'ambiance pour les lieux de travail, 1975.
 – NF X35-103, Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail, 1990.
 – UNI EN 12825, Raised access floors, 2003.
 – UNI EN 1815, Resilient and textile floor coverings - Assessment of static electrical propensity, 1999.
 – UNI EN 429, Resilient floor coverings. Determination of the thickness of layers, 1994.
 b. National laws
 – Décret n° 88-405 du 21 avril 1988 portant modification du code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et relatif à la protection des travailleurs contre le bruit + Article R 232 - 8 - 7
 c. Mohammedia Upgrade Project – Internal documentation.

Integrating ergonomics into architectural detailing of the control centre

Ergonomics and human factors principles for architectural detailing

Ergonomics, or Human factors, is based on understanding how people operates and relates with physical and organizational components of any kind of system when performing a task. Under this perspective, those tasks can be performed in a safe and efficient manner also thanks to the overall features of the built environment. (Burgess, 1981). Focusing on human-systems interactions, ergonomic approach requires the consideration of global environment's effects on real people who is using it, overcoming the reference to stereotyped human activities which not reflects the reality (Attaianese and Duca, 2010; Aas and Skramstad, 2010). The ergonomic design process in the

questa fase iniziale del progetto hanno riguardato:

- a. scopi delle attività di controllo e sequenza delle diverse azioni da compiere
- b. ruolo e numero dei diversi operatori coinvolti e loro specifici compiti
- c. metodi di lavoro impiegati dai diversi operatori, in termini di ruolo, procedure e responsabilità
- d. comunicazioni tra gli operatori
- e. modalità di interazione con i dispositivi hardware e software di comando e controllo
- f. turni di lavoro e pause
- g. posture degli operatori e relativi sforzi
- h. spostamenti e percorsi richiesti agli operatori per lo svolgimento dei compiti.

**Key performance area,
requisiti e specifiche
tecniche per il progetto
esecutivo**

La progettazione esecutiva è stata condotta sia a scala dell'edificio sia riguardo alle postazioni di lavoro, controllandone l'integrazione (Emitt et al., 2004) ed assicurando l'efficienza delle attività degli utenti diretti (operatori) e indiretti (ad es. manutentori, visitatori, ecc.). Pertanto il progetto è stato finalizzato a quattro *key performance area* trasversali, così definite:

- a. sicurezza e comfort
- b. comunicazione
- c. traffico e percorsi
- d. pulizia e manutenzione.

Riguardo alla prima, i requisiti e le specifiche identificati sono riferiti al benessere psico-fisico degli utenti, considerando il comfort termo-igrometrico, le possibili fonti di distrazioni acustiche e visuali connesse al layout spaziale, le caratteristiche acustiche e di riflettanza delle superfici e il comfort posturale. Sono state studiate le possibili fonti di disturbo derivanti dai materiali di finitura, dagli impianti e dalle attrezzature, confrontando più soluzioni alternative anche in rapporto ai possibili rischi da esposizione a contaminanti tossici. In merito alla *performance area* della comunicazione, sono stati identificate *task zone* individuali, in considerazione sia dello scambio di informazioni verbali, sia della localizzazione delle attrezzature di controllo visuale, di uso singolo e condiviso, anche separando zone con differenti funzioni per evitare possibili fonti di disturbo.

proposed case study was set-up in following steps:

- a. analysis of job activities and study of related ergonomic conditions to be assured by architectural features of the control room; definition of ergonomic requirements for the architectural plan
- b. definition of technical specification for ergonomic aspects of lightening system, materials and colors of architectural finishes, HVAC plants, in an integrated framework
- c. definition of ergonomic characteristics of control room and appurtenances layout, with reference to command and control devices reach and sight acuity
- d. control of the correspondence between the whole of ergonomic architectural performances assured by the architectural design, its technical specifications and job characteristics.

Task analysis of working activities in the control room

Ergonomic data feeding the overall design of a control suite were based firstly on job contents and work organization. Then, the first step of the architectural detailing under the ergonomic perspective was the preliminary understanding of control tasks to be carried out by mean of a task analysis. Task analysis is the systematic analysis of a task, or a whole of tasks, conducted by mean of tasks breakdown in some smaller scale elements, with the aim to describe exactly how human actions are carried out and task goal is achieved, observing interactions of people with the surrounding technical and socio-organizational system (Attaianese and Duca, 2010). Data gathered in this initial design stage concern:

- a. control scope and activities flow chart

- b. roles and numbers of involved people, specific task for each role
- c. applied working methods by each role: rules, procedures, responsibilities
- d. communications between operators involved in the same or in different task (vocals, hard copies message, digital,...)
- e. interaction ways with hardware and software check/signaling/input devices,
- f. work-shift and reliefs
- g. operators posture and related exertion based on console functions and working methods
- h. required moving and paths followed by operator performing its tasks.

Key performance areas, requirements and technical specification for architectural detailing
The architectural detailing phase of

Per la *performance area* relativa agli spostamenti e ai percorsi sono state considerate le distanze coperte dagli operatori per ottenere, condividere e riportare informazioni e decisioni raggiungendo attrezzature o colleghi, identificando i link fisici e procedurali e le eventuali scorciatoie o infrazioni attuabili.

Per l'area di prestazione relativa a pulizia e manutenzione sono state considerate l'accessibilità, semplicità e rapidità delle operazioni per il mantenimento in efficienza dell'edificio, in termini sia di riduzione del potenziale accumulo di sporco e contaminanti nella *control suite*, sia alla non nocività dei detergenti da utilizzare, che al possibile disturbo dovuto alle operazioni di manutenzione e riparazione (Attaianese, 2008).

Le soluzioni progettuali definitive sono l'esito di un flusso decisionale che, a partire dall'identificazione dei requisiti di progetto, ha condotto all'esplicitazione delle specificazioni di prestazione, fino alle specifiche tecniche col disegno dei particolari esecutivi.

Alla scala dell'edificio, tale metodologia ha condotto alla progettazione di dettaglio della *control room* e delle pertinenze, identificando:

- a. layout
- b. ambiente luminoso
- c. sistema di illuminazione e relativi dispositivi
- d. ambiente termico
- e. ambiente acustico della *control room*
- f. finiture e colori in rapporto alle partizioni orizzontali e verticali.

Alla scala della postazione di lavoro e delle attrezzature, la progettazione di dettaglio ha riguardato:

- a. layout delle *workstation* e degli arredi
- b. dimensionamento e morfologia dei *control desk*
- c. materiali, finitura e colori dei *control desk*
- d. *independent visual displays*
- e. illuminazione delle workstation in rapporto all'ambiente luminoso della *control room*
- f. caratteristiche acustiche della workstation in rapporto all'acustica della *control room*.

Particolare attenzione è stata riservata a tutte le caratteristiche che influiscono sui compiti visivi, in rapporto sia alle singole componenti architettoniche sia all'ambiente nel suo insieme. Specificazioni di

the project was conducted at two different, strongly integrated, scales, given the aim to assure full consistency between technical specification and designed details at both building and workstations scales (Emitt et al., 2004). Together with the focus on safe and efficient conduct of control operations by personnel, the detailing process paid attention to some other building performances related to the indirect users of the building, therefore some cross-cutting key performance areas for built environment were defined, to which design was addressed. Key performance areas identified for the Samir control centre are:

- a. safety and comfort
 - b. communication
 - c. traffic and routing
 - d. cleaning and maintenance.
- For what concerns personnel safety and comfort, requirements and

specifications were addressed to psycho-physical wellbeing, considering thermal comfort, visual and auditory distractions in spatial layout, as well as tactile, acoustic and reflectance features of surfaces. Also potential sources of visual, auditory and vibration disturbances from systems were considered, identifying appropriate countermeasures. Architectural detailing paid attention to minimizing possible risk of exposure to hazards such as toxic materials, pollution and radiation. Obviously, postural comfort has been taken into account, too. About communication, detailing activities were focused on task zones of individuals requiring frequent verbal communication, control suite equipment location in relation to the need of visual contact between operators. Rooms and locations with different functions have been kept

physically separated to avoid potential sources of disturbance.

Traffic and routing key performances refer to distances to be covered either for reaching the exact location of displayed data either for exchanging information among operators.

They consider the overall working organization in terms of procedural and physical links, shortcuts and infringements.

Main aspects considered for cleaning and maintenance area concerned the easiness and minimization of related operations. Those are the referred to potential accumulation of dirt and contaminants in the control suite and innocuousness of cleaning agents needed. It also focused on keeping at the minimum disturbance to the operations of the control suite, by accessibility, easiness and quickness of maintenance and repair activities (Attaianese, 2008).

prestazione e specifiche tecniche sono state definite per il sistema di illuminazione così da garantire le condizioni visive più adeguate alle specifiche mansioni. Anche i colori sono stati selezionati in relazione alle caratteristiche di riflessione dei materiali e delle finiture, considerando la loro influenza sulla percezione, l'attenzione e il carico di lavoro degli operatori (Goins et al., 2010).

Technical requirements for walls		Technical specifications for walls							
REQ_finishes 2	Colours, textures and materials should be selected to provide a pleasant working environment and a calming backdrop to the control activities being undertaken. <i>[UNI EN ISO 11064- Ergonomic design of control centres Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>	SPEC_finishes 23	Wall finishes should have a surface reflectance value included between 0,50 and 0,60. The surface reflectance value should not fall below 0,50, as values below this can increase the contrast between the ceiling and walls, contribute to a gloomy environment, and increase electric light power consumption. <i>[ISO 11064-6, Ergonomic design of control centres - Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>						
REQ_finishes 4	Wall finishes should be pale rather than bright and the colours selected to avoid psychological effects; textured finishes help reduce reflected glare <i>[UNI EN ISO 11064- Ergonomic design of control centres Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>	SPEC_finishes 24	The glazing bars and solid areas of the partitions should have a similar reflectance value (0,5 to 0,6) to the periphery walls. <i>[Ref.: ISO 11064-6, Ergonomic design of control centres - Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>						
REQ_finishes 6	The excessive use of either dark or light finishes on building structures or on furniture should be avoided. <i>[UNI EN ISO 11064- Ergonomic design of control centres Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>	SPEC_finishes 25	Colour of the wall surface in the control room and appurtenances should be close to one of following colours according the NCS – Natural Color System: - S 0520-Y - S 0530-Y - S 0520-G90Y						
REQ_finishes 8	Excessively strong patterns, seen as a backdrop to visual display units or other control equipment, should be avoided. <i>[UNI EN ISO 11064- Ergonomic design of control centres Part 6: Environmental requirements for control centres]</i>	SPEC_finishes 26	In order to avoid glare conditions, architectural finishes colours should allow to keep chromatic contrasts in visual field listed hereafter: <table><tr><td>GLAZE DIRECTION</td><td>TOLERATED CONTRAST</td></tr><tr><td>In the working area</td><td>1:3</td></tr><tr><td>Between the working area and front zone</td><td>1:5</td></tr></table>	GLAZE DIRECTION	TOLERATED CONTRAST	In the working area	1:3	Between the working area and front zone	1:5
GLAZE DIRECTION	TOLERATED CONTRAST								
In the working area	1:3								
Between the working area and front zone	1:5								

The architectural detailing was achieved implementing the flow of requirement identification, technical specification elicitation and details drawing. More specifically, at building scale, this flow brought at detailing:

- Control room layout
- Control room and appurtenances lighting system
- Environment lighting
- Lighting equipment
- Control room and appurtenance thermal environment
- Control room and appurtenances acoustic environment
- Control room and appurtenances architectural finishes and colours.
 - Flooring
 - Ceiling
 - Walls

For what concerns detailing of workstations and furniture, details were addressed to:

- control workstations and furniture layout
 - control desk and furniture dimensions and morphology
 - control desk and furniture finishes and colors
 - independent visual displays
 - lighting workstation and control room lighting
 - acoustic workstation and control room acoustic.
- Design and detailing activities paid particular attention to all technical features affecting visual tasks, referred to single components and to their whole. Details identified technical specifications of lighting system, in combination with natural light, and colors were selected in relation to reflecting power of materials and finishing considering their influence on perception, attention and workload (Goins et. al., 2010).

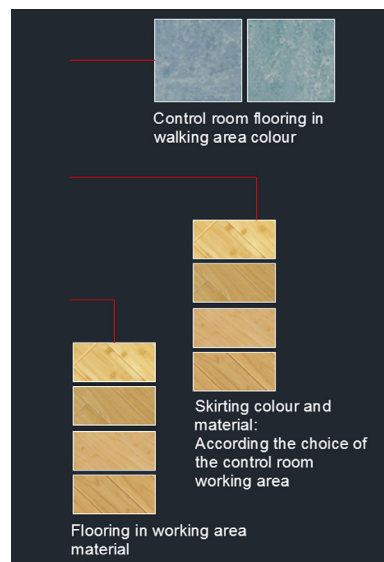
02 | Esempio dei requisiti e delle specificazioni di prestazione delle finiture delle partizioni verticali

Sample of technical requirements and specifications for wall finishes

Architectural finishes	
Flooring	
Architectural aspect	Technical specification
Floor finishes reflectance value	between 0,2 and 0,3
Flooring panel dimension	60 cm x 60 cm
Flooring system antistatic performances	between 1,5x10 ⁷ ohm and 2x10 ¹⁰ ohm
Flooring system antistatic coefficient	<2 KV
Flooring system antistatic sound reduction	$\Delta L_w \geq 10$ dB
Floor surfaces dynamic co-efficient of friction	$0,45 \leq \mu \leq 0,50$, measure following the "B.C.R.A. method"
Floor surface material	linoleum or vinyl
Control room flooring in working area colour and pattern	close to wood parquet in – light cherry– beech – maple – oak – bamboo or close to NCS colour – S 1030-Y30R – S 1040-Y30R – S 1040-Y20R – S 1040-Y10R
Control room flooring in walking area colour	close to NCS colour – S 1040-B – S 2050-B – S 2040-B – S 3040-B – S 2050-B10G – S 3040-R90B
Flooring in control room appurtenances colour	close to MCS colour – S 1040-B – S 2050-B – S 2040-B – S 3040-B – S 2050-B10G – S 3040-R90B
Width of joints among flooring panels	< 5 mm
Protrusions height in flooring joints	< 2 mm
Threshold edges	rounded
Floor grid mesh	have to avoid a 2 cm diameter sphere passing across it
Mats and carpets	built in the floor surface
Level difference in floor surfaces	< 2,5 cm
Skirting colour and material	according the choice of the control room working area

03 | Tavola di dettaglio delle finiture:
particolare delle finiture delle
superfici

*Detailing drawing sheet: particular
about surface finishes*



The validation of the architectural detailing project

Last stage of the design process concerned the compliance check, aimed at verifying that the whole of the ergonomic technical specifications defined and applied in the Samir Mohammedia control centre matches all the applicable standards and laws. To provide evidence that all expected performances were fulfilled, a matrix was built crossing each point of applicable ergonomic standard with the corresponding set of technical specifications.

Moreover, an intermediate and final simulation for the assessment of ergonomic performances of buildings, working positions and equipment was made by internal and external VR views and movies, integrating a real like digital ergonomic mannequin for the analysis of visibility, reachability and

postures in built environment.

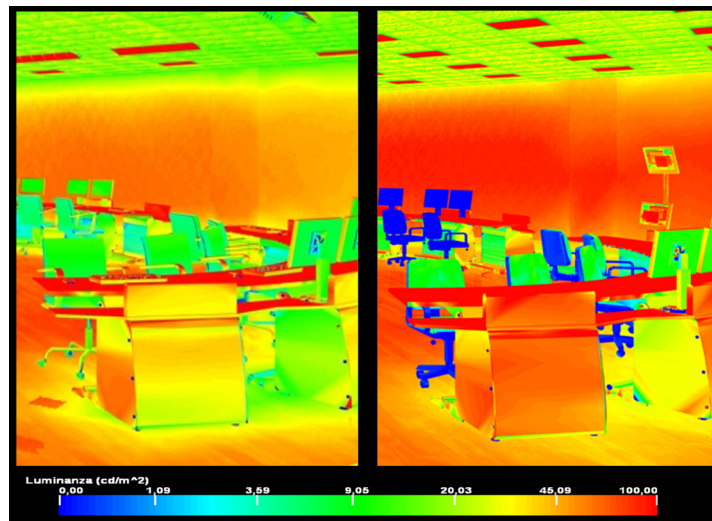
Conclusions

The research driven project presented here allowed to put in practice a whole process of performance based design for a safety critical building. The focus on performances required a technological approach to the architectural project. In fact, the effort of eliciting users expectations on the basis of actual functional needs responds to a major trigger of technology perspective on building design. Formalization of the design process, that in the presented project has been strongly supported by a traceability system for requirements and technical specifications, is a further benchmark of technological approach. This, joined with the verification and validation outputs, provided all the stakeholder involved in building design,

L'ultima fase del processo di progettazione è consistita nella verifica di conformità dell'insieme delle specifiche tecniche definite per il Centro di Controllo Samir di Mohamedia al complesso delle norme volontarie e cogenti applicate.

Per dare evidenza al fatto che, nella fase di utilizzo, tutte le prestazioni attese, così come definite nel progetto esecutivo, sarebbero state assicurate, è stata costruita una matrice in cui ogni singolo punto delle norme da cui sono derivati uno o più requisiti è stato incrociato con il set di specifiche tecniche in grado di erogare le prestazioni corrispondenti.

Inoltre, la verifica delle prestazioni ergonomiche, integrando tutte le scale, è stata condotta in fase intermedia e finale di sviluppo, mediante simulazioni computerizzate. Viste e filmati in realtà virtuale (VR) della sala di controllo sono stati realizzati integrando, nella ricostruzione VR dell'ambiente architettonico, uno specifico sw di simulazione del corpo umano per l'analisi di visibilità, raggiungibilità e controllo delle posture.



04 | Verifica intermedia per la selezione fra opzioni alternative basata sul confronto delle prestazioni visive offerte da due diversi sistemi di illuminazione (vista parziale)

Partial view of intermediate verification for final selection based on comparison of control room visual performances offered by two lightening systems

construction and use, with a quality controlled product, that is able to satisfy expressed and implicit needs (Pat et al., 2006).

Moreover, the relevance of reliability and serviceability in such safety critical building requested to emphasize maintainability aspects of components and systems in order to keep those performances at the acceptable level, whilst considering, at the same time, the impact of management and maintenance operations on smooth ongoing of surveillance tasks.

NOTES

¹ When a common action in the spectrum of human behavior is a cause or a contributing factor in a disaster or an accident it is identified as human error. The field of application of human error concept is very broad and involves diverse contexts, such as military,

nuclear, medicine, transportation.

A common background for all these fields is the systemic approach to human error analysis, as well as the relevance

of the context, in its broadest meaning, in determining human behavior.

² SAMIR-MOHAMMEDIA-MAROCCO- Upgrade Project – Ergonomic Study “Convenzione di Ricerca tra Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura (DICATA) e EsseTi del 12/01/2007”, Project leader: Erminia Attaianese, workgroup: Gabriella Duca, Gabriella De Margheriti, Stefano Santagata.

Conclusioni La realizzazione del progetto descritto, il cui focus sulle prestazioni ha richiesto l'adozione di un approccio tecnologico al progetto, ha consentito di mettere in pratica l'intero processo di progettazione basato sul *performance design* nell'ambito di edifici *safety critical*. L'esplicitazione delle esigenze degli utenti, sulla base dei bisogni funzionali specifici per l'edificio, risponde a uno degli input caratterizzanti l'approccio tecnologico alla progettazione architettonica. La formalizzazione del processo di progettazione, che nel caso illustrato è stata implementata mediante un sistema di tracciabilità del complesso quadro di requisiti, specificazioni e specifiche identificati, rappresenta di per sé un ulteriore aspetto caratterizzante della tecnologia dell'architettura. Tutto ciò, unito agli esiti della fase di validazione e verifica ha fornito, a tutti gli *stakeholder* coinvolti nella progettazione, costruzione e uso, un progetto esecutivo la cui qualità risulta controllata in ogni sua fase e in grado di soddisfare, pertanto, le loro esigenze espresse ed implicite (Pat et al., 2006).

NOTE

¹ L'errore umano è un'azione che causa o contribuisce a determinare un disastro o un incidente, connessa ad aspetti diversi del comportamento umano, come la percezione dei segnali, il problem solving o l'errore nella pianificazione ed esecuzione di un'azione. Per la sua gestione è necessario adottare un approccio sistemico che evidenzia il ruolo del contesto, nella sua più ampia accezione, nel determinare il comportamento umano.

² SAMIR-MOHAMMEDIA-MAROCCO-Upgrade Project – Ergonomic Study “Convenzione di Ricerca tra Dipartimento di Configurazione e Attuazione dell'Architettura (DICATA) e EsseTi del 12/01/2007, Responsabile Scientifico, Erminia Attaianese. Gruppo di lavoro: Gabriella Duca, Gabriella De Margheriti, Stefano Santagata”.

³ Questo articolo è il frutto della stretta collaborazione delle due autrici. Ciò nonostante, se parti specifiche devono essere attribuite alla singola autrice, ciò può essere fatto come segue: paragrafi 1, 2.1, 2.2, 3.1 ad Erminia Attaianese, paragrafi 3.2, 3.3, 3.4 e 4 a Gabriella Duca.

REFERENCES

- Aas, A.L. and Skramstad, T. (2010), “A case study of ISO 11064 in control centre design in the Norwegian petroleum industry”, *Applied Ergonomics* Vol. 42 No. 1, pp. 62-70.
- Attaianese, E. (2008), “From the qualities to the quantities: applied ergonomics in a control room architectural project”, in W. Karwowsky and G. Salvendy (Eds). *AHFE International - Applied Human Factors and Ergonomics Conference 2008 Proceedings*. Las Vegas July 14-17 2008, pp. 1-8.
- Attaianese, E. and Duca, G. (2010), “Human factors and ergonomic principles in building design for life and work activities: an applied methodology”, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Vol. iFirst No. 30 September 2010, pp. 1-16.
- Burgess, J.H. (1981), *Human factors in built environment*, Environmental Design and Research Centre, Newtonville MA.
- Clements-Croome, D. (2004), “Building environment, architecture and people”, in Clements-Croome D. (Ed.) *Intelligent Buildings: Design Management and Operation*, Thomas Telford, London, pp. 53- 100.
- Emitt, S., Olie, J., and Schmid, P. (2004), *Principles of architectural detailing*, Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Goins, J., Jellema, J., and Zhang, H. (2010), “Architectural enclosure's effect on office worker, performance: A comparison of the physical and symbolic attributes of workspace dividers”, *Building and Environment* No. 45, pp. 944-948.
- ISO 13407 (1999), *Human-centred design processes for interactive systems*, International Standard Organization, Geneva.
- Kobes, M., Helsloot, I., Vries, B. and Post, J.G (2010), “Building safety and human behaviour in fire: A literature review”, *Fire Safety Journal* No. 45, pp. 1-11.
- Noyes, J. (2001), Human error. In Noyes, J. and Bransby, M. (Eds), *People in Control: Human Factors in Control Room Design*. The Institution of Electrical Engineers, Stevenage UK, pp. 4-16.
- Pati, D., Park, C.S. and Augenbroe, G. (2006), “Roles of building performance assessment in stakeholder dialogue”, *Automation in construction*, No.15, pp. 415-427.
- Reason J. (1990), *Human error*, Cambridge University Press, Cambridge UK, p. 50.
- Volker, L. and Prins, M. (2005), “Exploring the possibilities of correlating management with value in architectural design” in Emmitt, S. and Prins, M. (Eds.), *Proceedings of the CIB W096 Architectural Management*, CIB, Rotterdam, pp. 47-59.