

## CALCUL DE L'ENSOLEILLEMENT DE FAÇADES ARCHITECTURALES : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

G. BRANCUCCI ET G. PALIAGA

*Dipartimento POLIS. Fac. di Architettura Università di Genova, Str.ne S. Agostino 37  
16123 Genova (Italie)*

*[brancucci@arch.unige.it](mailto:brancucci@arch.unige.it), [gpaliaga@arch.unige.it](mailto:gpaliaga@arch.unige.it)*

### Résumé

L'analyse détaillée des conditions microclimatiques auxquelles les façades peintes à fresques sont exposées, peut fournir un point de départ utile pour repérer des zones potentiellement plus exposées que d'autres à certaines formes de dégradation et, par conséquent, permettre de projeter des interventions ciblées de protection et de prévention. Ce problème a été affronté en termes quantitatifs à travers l'élaboration d'une procédure rigoureuse de calcul qui peut fournir les bases d'une méthode d'enquête analytique de la dégradation.

### Abstract

In this paper we present a new methodology of approaching the study of the microclimatic effects, particularly the solar radiation effects, on the degradation of the frescoed frontage in the historical centre of Genoa.

The quantitative analysis of the solar radiation hitting a frontage may represent a useful basis to identify areas potentially more sensible to some kind of degradation; this kind of study may allow specific protection and prevention actions.

The study has been approached in a quantitative way through a rigorous calculus of the solar radiation hitting the surface.

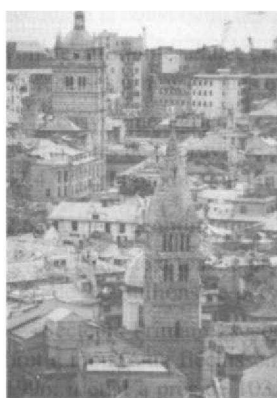
Mots-clés : radiation solaire, dégradation par le climat, monuments, horizon

Key words: solar radiation, weathering, monuments, skylines

### Introduction

Dans le cadre des recherches effectuées à la Faculté d'Architecture de l'Université de Gênes, il est apparu absolument nécessaire d'élaborer une méthode d'analyse dans le but d'étudier l'effet des éléments microclimatiques, en particulier de l'ensoleillement, sur la dégradation des façades peintes à fresques du centre historique de la ville.

#### 1. Contexte de l'étude



Le centre historique de Gênes est caractérisé par un réseau étroit de ruelles et par des édifices de différentes hauteurs (figure 1). Il n'est pas rare que dans un espace réduit et sur une même œuvre, se produisent de forts contrastes entre soleil et ombre auxquels s'ajoutent des expositions différentes aux agents climatiques tels que l'eau et le vent en particulier.

Les effets de la dégradation causés, en première évaluation, par la présence ou l'absence d'ensoleillement se manifestent sous forme de déco-

**Figure 1 : Vue partielle du centre historique de Gênes caractérisé par un réseau étroit de ruelles et de palais de différentes hauteurs.**

loration des surfaces peintes à fresques et/ou à travers l'apparition ou l'accentuation de lézardes produites soit par un processus d'affaissement structural, soit, parfois, par des phénomènes pouvant être attribués à des effets de thermo/cryoclastisme.



Par contre, l'irradiation peut opérer une action positive en contrastant d'autres formes de dégradation liées à la présence d'eau, d'humidité, de moisissures, etc. (figure 2)

**Figure 2 : Exemple de formes de dégradation liées à la présence d'eau, d'humidité, de moisissures, etc.**

## 2. Phases de la recherche.

La recherche en cours a permis, de façon préliminaire, d'aboutir au tracé mensuel et annuel d'irradiation calculée de façon détaillée pour chaque élément architectural pris en examen.

Après avoir identifié les sites les plus adéquats pour expérimenter la méthode proposée de sorte qu'ils soient représentatifs des diverses expositions, on est passé à la réalisation des phases suivantes :

- 1) définition des orientations dans l'espace des façades faisant l'objet de l'étude au moyen d'une cartographie à petite échelle;
- 2) dessin des façades;
- 3) calcul de la radiation reçue, grâce à des techniques d'intégration numérique. (Le calcul d'irradiation a été effectué au moyen d'un logiciel commercial qui permet de déterminer les paramètres d'irradiation d'une surface dans l'espace en fonction de son orientation et du trajet apparent du soleil et de l'horizon local).

En ce qui concerne en particulier le point 3), pour obtenir un résultat rigoureux et précis, la définition scrupuleuse d'obstacles qui s'interposent entre la direction de provenance des rayons solaires (*skyline*) et la surface étudiée est apparue d'une importance fondamentale. Pour atteindre cet objectif, le procédé prévoit :

- a) la superposition d'une grille de points (tous le 2 m) sur la façade dessinée (point 2);
- b) la vérification, pour chaque point, du rapport spatial avec les obstacles (angle visuel) qui s'interposent entre le point lui-même et le parcours du soleil (skyline) (Fig. 3).
- c) le calcul de l'irradiation mensuelle pour chaque point de la grille.

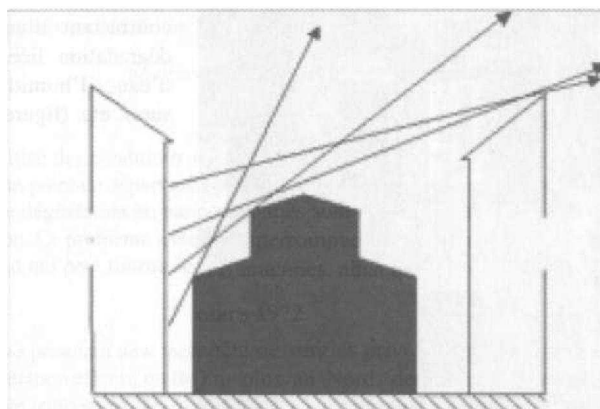


Fig. 3 - Vérification, pour chaque point, du rapport spatial avec les obstacles (angle visuel) qui s'interposent entre le point lui-même et le parcours du soleil (Skyline).

### 3. Calcul du rayonnement solaire

Sur la base des skylines obtenus et de l'angle d'encombrement vertical de l'obstacle en fonction de l'angle azimutal se référant au parcours du soleil, les intervalles temporels d'illumination/ombre et la quantité de radiation exprimée en  $W/m^2$  de chaque point de la grille ont été définis.

Afin de calculer la radiation incidente sur la façade du palais nous avons utilisé un logiciel commercial développé pour diverses applications dans le champ d'utilisation de l'énergie solaire.

Un tel logiciel nous a permis de réaliser le calcul de la radiation incidente sur une superficie orientée arbitrairement, en employant les données reportées dans des bases de données qui réunissent les paramètres mesurés dans un intervalle de temps de dix ans de stations météorologiques réparties sur tout le globe.

Le calcul de la radiation solaire directe et diffuse, est effectué en tenant compte de l'effet de masque causé par l'interposition d'obstacles autour des sites analysés et le trajet apparent du soleil pour chacun des jours de l'année (skyline).

Donc à partir des données relatives à la position du site, à l'orientation de la superficie dans l'espace et au trajet apparent du soleil dans le ciel, le logiciel permet d'obtenir trois types différents de résultats :

moment des levers et couchers du soleil (plusieurs couples par jour dans le cas d'obstacles - *skyline*).

- données relatives au calcul effectué sur base mensuelle (Tab. 1)
- données relatives au calcul horaire (Tab. 2).

Tableau 1 : Paramètres calculés sur base mensuelle.

Rayonnement global horizontal
Rayonnement diffus horizontal
Rayonnement hémisphérique, plan incliné
Rayonnement diffus, plan incliné
Rayonnement direct, plan incliné
Température de l'air
Humidité relative
Vitesse du vent
Direction du vent
Précipitations
Ensoleillement
Jours avec précipitations >0.1mm

Tableau 2 : Paramètres calculés sur base horaire.

Mois
Jour
Heure
Azimut soleil
Élévation solaire
Radiation global horizontal
Rayonnement global
Rayonnement diffus horizontal
Rayonnement direct normal
Rayonnement direct
Rayonnement hémisphérique, plan incliné
Rayonnement diffus, plan incliné
Emissivité plan vertical
Humidité relative
Température de l'air
Température de la surface
Bilan de rayonnement
Degré de nébulosité

Dans cette recherche nous avons employé les valeurs calculées mensuellement de la radiation directe exprimée en termes d'énergie par unité de surface ( $\text{kWh/m}^2$ ) et les valeurs de la température de la superficie calculée aux solstices et aux équinoxes.

Position du site :  $44^\circ 15' \text{ N}$  ;  $8^\circ 33' 3,6'' \text{ E}$  ; altitude : 6 m ; la normale à la superficie en question est orientée dans l'azimut :  $172^\circ \text{ N}$  avec une inclinaison de  $90^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Nous avons procédé en superposant à la superficie analysée une grille avec des mailles d'un pas de 2 mètres dans les deux dimensions spatiales, pour un total de 9 points selon la direction horizontale et de 13 points selon la direction verticale.

Pour chaque point de la grille, pour les valeurs angulaires comprises entre  $90^\circ$  et  $270^\circ$ , tous les  $10^\circ$ , a été calculé l'horizon, ou bien la définition géométrique de chaque obstacle par rapport au trajet apparent du soleil, représenté par les édifices autour de la façade analysée (**figure 4**).

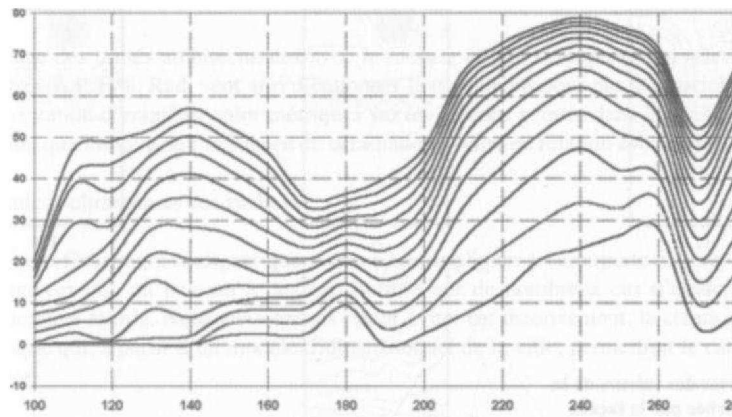
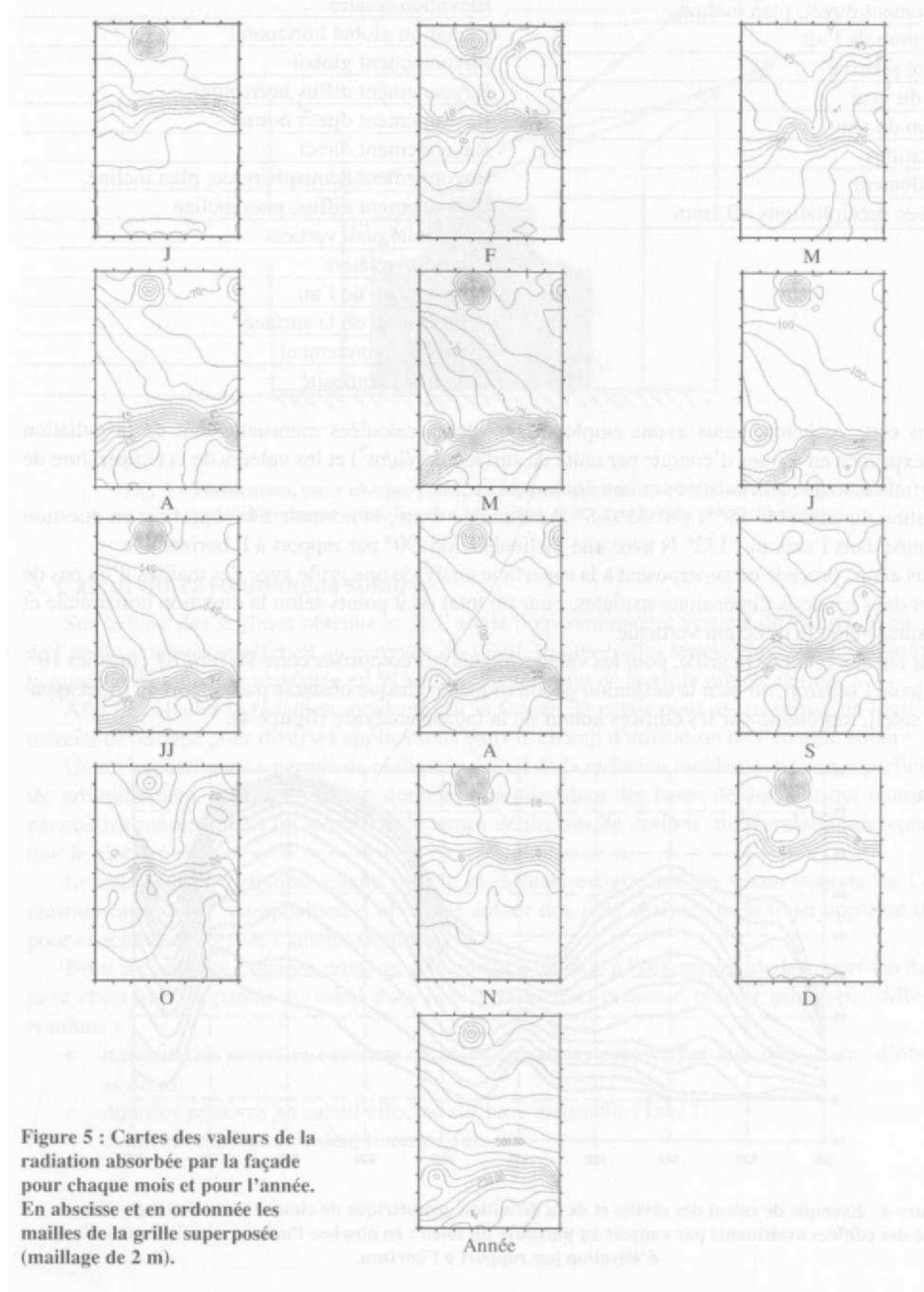
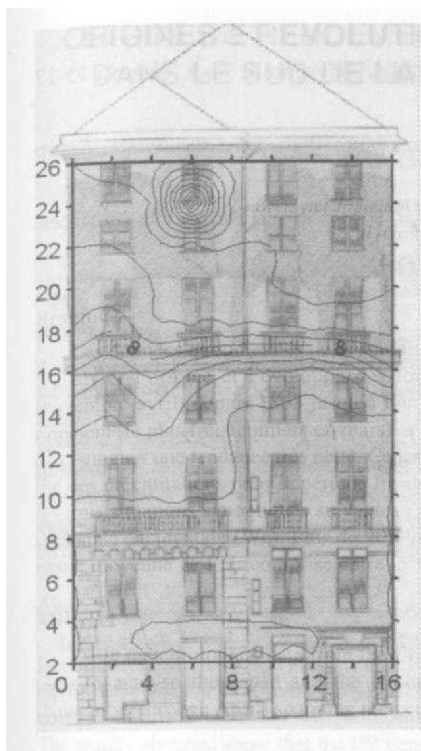


Figure 4 : Exemple de calcul des *skyline* et de la définition géométrique de chaque obstacle (angle visuel) reporté des édifices avoisinants par rapport au parcours du soleil ; en abscisse l'azimut et en ordonnée l'angle d'élevation par rapport à l'horizon.

Le calcul a été effectué en employant les données relatives à la station météo de l'Université de Gênes située près du centre historique à une distance à vol d'oiseau inférieure à 1 km de la façade en examen.

Les valeurs d'irradiation ainsi calculées ont été interpolées pour obtenir une série de cartes de la radiation absorbée par la façade, annuellement et mensuellement (**figure 5**).





Les cartes, superposées à l'image de la façade (**figure 6**), ont ainsi permis d'identifier des zones sujettes à un niveau d'insolation plus ou moins intense selon les périodes de l'année et aussi en rapport, comme nous l'avons indiqué précédemment, à la percolation de l'eau et à l'exposition au vent, afin de mieux souligner le rapport existant entre dégradation et agent climatique.

**Figure 6 : Exemple du tracé de la radiation solaire (mois de Janvier) superposé à l'image de la façade (en gris plus chargé zone de dégradation). L'unité de mesure est le m en abscisse et en ordonnée.**

## Conclusion

Les premiers résultats de la recherche ont montré des possibilités intéressantes de développement. Il apparaît cependant évident que, pour arriver à des résultats utiles d'un point de vue opérationnel, un approfondissement des essais reste indispensable. Un tel approfondissement est utile pour la séquence d'opérations décrite ci-après:

- 1) monitoring des unités architecturales avec la mesure in situ de capteurs au relevé direct des paramètres T, P, H%, Rad, vent afin d'étalonner le modèle proposé par le logiciel utilisé ;
- 2) expérimentation d'enquêtes colorimétriques sur les façades peintes dans le but de réaliser une évaluation quantitative de l'influence de la radiation solaire en relation avec la décoloration des façades.
- 3) études microclimatiques des ruelles

Nous souhaitons finalement souligner que la procédure appliquée ici comporte un long travail d'acquisition des données qui, en pensant à des applications sur de nombreux cas d'étude, pourrait en rendre l'utilisation très lourde. Nous envisageons, pour éviter cet inconvénient, la création d'une procédure automatique qui, à partir d'un modèle tridimensionnel de la ville, permettrait le calcul automatique des *skylines*.

## Bibliographie

A A. V V. *Facciate dipinte, conservazione e restauro*, Atti del convegno di studi, Genova 15-17 aprile 1982.

AA.VV. *Genua Pietà. Proposte per la scoperta ed il recupero delle facciate dipinte*, Sagep Editrice, Genova 1982.

B A D E S C U V., 2002: 3D isotropic approximation for solar diffuse irradiance on tilted surfaces. *Renewable Energy* 26, p. 221-233.

B A D E S C U V., 1997: Verification of some very simple clear and cloudy sky models to evaluate global solar irradiance *Solar Energy* 61 (4), p. 251-64

DANNY H. W. LI \*, JOSEPH C. LAM, CHRIS C. S. LAU, 2002 : Technical note: A new approach for predicting vertical global solar irradiance, *Renewable Energy* 25, p. 591-606.

DE GENNARO M., CALCATERRAD., CAPPELLETTI P., LANGELLA A., MORRA V., 2000 : Building stone and related weathering in the architecture of the ancient city of Naples, *Journal of Cultural Heritage*, 1, p. 399-414

DEL BINO D., DI SIVIO M., SANTI E., 1984 : *Clima ed edilizia. Rapporto tra tipologia edilizia e soleggiamento*. Alinea Editrice, Firenze.

M E T E O N O R M, 2000 : *Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology. Version 4.0* Software and data on CD, Meteotest Fabrikstrasse, 14 Bern, Switzerland.

PECCHIONI E., 2000 : *Metodi di indagine per la caratterizzazione del materiale lapideo utilizzato nel patrimonio artistico e per la determinazione del suo stato di conservazione*, *Geologia Tecnica ed ambientale*, 2, p.33-39

RACCOMANDAZIONI NORMAL 1 : 88, *Alterazione dei materiali lapidei e trattamenti conservativi*. Lessico, Consiglio Nazionale Ricerche, Istituto centrale restauro, Roma, 1988.

ROMAN OVSKY V., 1994 : Les agents atmosphériques responsables de la dégradation des monuments, *La Meteorologie*, Vili, 6, p. 57-67.