

L'ANALYSE DE L'ARCHITECTURE ET LES EXTENSIONS CARTO-  
GRAPHIQUES DES RELEVEMENTS

Carlo Monti

Polytechnique de Milan, Inst. de Top., Phot. et Géoph.  
Italie

Commission V

Les recherches analytiques sur l'architecture, sont en général, liées à des problèmes de conservation, de cataloguement et, en général, à des recherches de nature historique-critique. Elles trouvent aujourd'hui des supports scientifiques inédits dans les applications des techniques photogrammétriques et topographiques. En plus, la contribution des relèvements photogrammétriques multiplie sa propre efficacité si l'on y associe ces deux conditions:

- le développement simultané d'autres secteurs analytiques;
- l'enchaînement du relèvement de chaque monument à la dimension de l'entour urbain du territoire.

Sans vouloir diminuer l'autorité du relèvement considéré comme secteur disciplinaire autonome, il faut toutefois qu'il sorte de sa propre dimension tautologique et qu'il assume une dimension pratique, de support et de synthèse aux autres techniques et aux autres disciplines de recherche.

Cette considération comporte une vision du relèvement plutôt flexible (qu'on ne doit pas considérer comme une oscillation qui manque de précision) c'est à dire qu'il doit avoir pour but ce que l'on a demandé.

Il faut donc connaître très bien les limites et les possibilités de la technique photogrammétrique, mais il faut aussi affronter d'un esprit de collaboration et plus souvent de compréhension les exigences de ceux qui en jouissent.

Si l'on travaille dans ce but, c'est à dire sans la présomption d'offrir un service indispensable (il est rarement indispensable) mais seulement un service très utile, on peut obtenir des résultats pratiques de grande efficacité et, parfois, trouver de nouveaux espaces théoriques ou plus simplement des bonnes justifications pour ce qui a été fait, même sur le plan théorique.

Avant de passer à quelques exemples pratiques des travaux où l'on a travaillé de cette façon, il est nécessaire de souligner la grande différence pratique et théorique entre un relèvement traditionnel et un relèvement photogrammétrique.

En général les nouvelles techniques (qui, en effet, ne sont pas tout à fait nouvelles) sont considérées comme une espèce de "biais" instrumental pour tracer des dessins bien plus précis et détaillés de ceux qu'on peut obtenir par les méthodes traditionnelles, mais complètement homogènes au répertoire classique du relèvement architectural. Il semblerait donc que l'innovation des instruments et des méthodes réaffirme surtout des anciennes formes de culture du dessin, qui arrivent à des descriptions graphiques-picturales de l'objet relevé. Mais dans le dessin ainsi produit il y a une nouvelle crédibilité métrique; les composantes plastiques-décoratives présentent une "possibilité de tracement" garantie par la machine, autrefois confiée aux interpolations du dessin; aux formes classiques de représentation sur les plans de Monge, s'ajoutent les représentations à courbes de niveau, par points non contigus, par sections et autres.

Mais il y a surtout deux aspects qui émergent de cette variation qualitative:

- la séparation conceptuelle et pratique entre les opérations de

relèvement et celles du dessin;  
 - prendre la mesure comme élément déterminant du relèvement.  
 Voilà la raison pour la quelle il n'est plus possible de limiter volontairement les possibilités techniques de la photogrammétrie à la seule construction d'images "persuasives" des oeuvres historiques-artistiques, mais il faut construire des images "utiles" aux interventions sur les oeuvres mêmes; et, si à ces images "utiles" on ajoute d'autres formes de recherche, comme on a dit auparavant, il est possible d'avoir une meilleure qualité, dans la connaissance d'une oeuvre architecturale.

#### Le relèvement de la "Rotonda" de Palladio (1981)

Il s'agit d'un monument de l'architecture qui présente l'occasion de recherches que l'on ne peut pas résoudre par une simple description graphique; les nombreux relèvements qui ce sont succédés dans le temps, ont été toujours enrichis par des composants interprétatives qui montrent les différentes motivations culturelles sur les quelles se fondait le projet du relèvement. De tous ces relèvements on pourrait méditer sur la valeur absolument relative, jamais objective, des techniques de relèvement et des systèmes de représentation graphique, toujours influencés par la culture et par les intentions de l'exécutant. Tout cela apparaît évident si l'on considère comme la coupole de la Villa, contrairement à d'autres détails représentés avec une précision suffisante et uniformité, est toujours représentée par des images très différentes entre elles. On va de la "minimisation" de la coupole par Muttoni (1740), qui y dessine dessus une coupole imaginaire selon lui repondante au projet original, ensuite changé, à celle en forme de "pagoda" exhibée par Bertotti Scamozzi (1761). Parmi ceux-ci il y a les relèvements du puriste Visentini qui montrent la coupole encore différente, qui est en tout cas un compromis entre le dessin contenu dans les "Quatre Livres" et l'édifice construit, rendu présentable par une intelligente version néo-classique.

Et tout cela vient non seulement du refus de la représenter comme dans la réalité, parce que considérée apocryphe, mais aussi à cause de la difficulté de reconnaître en elle-même un signe, une forme, que l'on peut rapporter à des modèles connus.

Voilà pourquoi l'importance d'un relèvement plus objectif, même si non objectif en termes absolus, comme celui fait photogrammétriquement en 1980-81, en profitant, entre autre, d'une circonstance favorable: la mise à nu de la coupole pour des travaux de assainissement qui avaient fait enlever toutes les tuiles.

On obtenait une représentation qui la faisait ressembler au monument romain le plus classique, le Panthéon, et non plus à une "diminution" de la coupole de plein cintre de type vénitien.

Mais la restitution (échelle 1:50) de la façade montrait aussi, dans les différentes dimensions des statues qui surmontent la Villa, dans certaines lignes du fronton non parallèles entre elles, en une hausse du tympan aux extrémités, des choix scénographiques suggestives et très abiles du Palladio. Une section très détaillée de la voûte était faite pour vérifier "à priori" les conséquences d'un éventuel déplacement de la lanterne, la restitution de perspectives et de plans aux différentes niveaux pour relever d'éventuelles irrégularités dans l'épaisseur et dans la disposition des parois qui pouvaient indiquer des phases constructives différentes. L'importance des asymétries en un édifice construit comme symbole de la symétrie absolue, est évidente. Une restitution (1:200) par

prises de vue aériennes à très basse altitude, afin d'établir et le plan et son insertion dans les corps environnants et dans le jardin, a conclu la phase de relèvement. L'adoption ensuite de techniques différentes, c'est à dire la thermoluminescence, la thermographie, l'analyse chimique, a permis un stade de connaissance qu'aucune technique, employée singulièrement aurait pu donner, mais qui ensemble ont apportés des éléments importants pour un diagnostic historiographique plus exacte du monument.

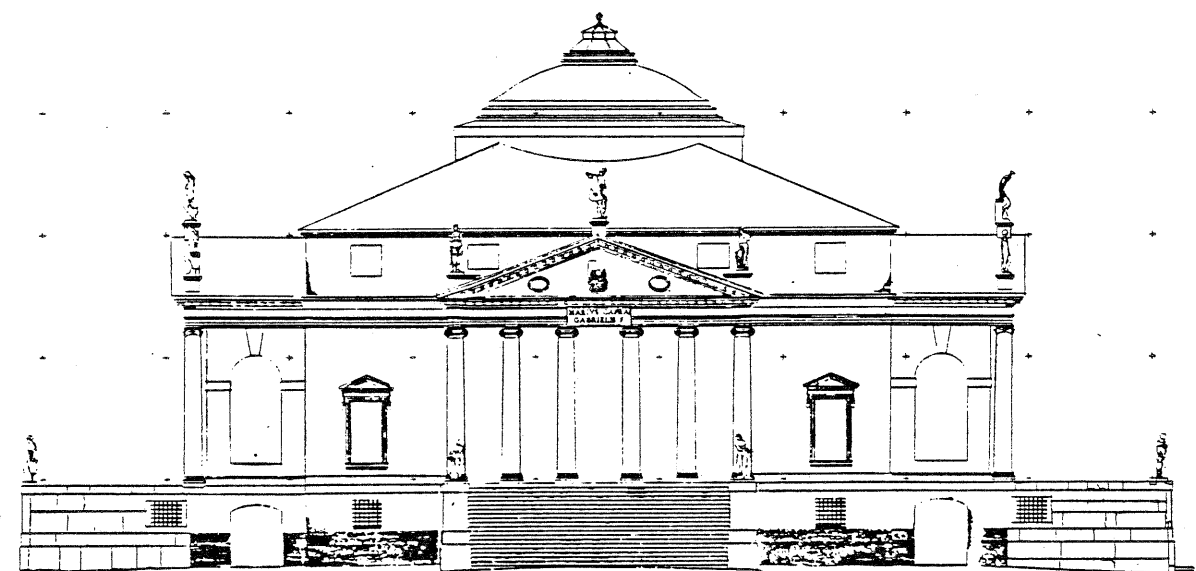


Fig. 1 - Façade de la Villa "La Rotonda" du Palladio.

#### Le relèvement de la parois de Leonardo (1981-82)

La parois, dite de Leonardo, décorée de fresques avec "La Cène", se trouve à l'intérieur du refectoire de St. Maria delle Grazie, à Milan, et présente, en même temps que les déjà connues vicissitudes de la fresque, des problèmes de nature statique. Depuis 1980 on a programmé une série d'interventions, de diagnostics et de consolidations statiques. En même temps on commençait une série d'essais sur la fresque. La stratégie opérative, dans la phase de première intervention, comprenait une série des premiers relèvements et essais simplifiés, la mise en oeuvre des protections statiques de garantie, relèvements et expérimentations ensuite non plus exécutable à cause même de telles protections de garantie.

La seconde phase d'intervention (diagnostic) voyait une série d'opérations et de recherches que l'on peut classer de telle façon: examen du sol des fondations, sur les éléments propres de l'oeuvre à consolider, sur les éléments significatifs du phénomène de dégradation, sur les actions appliquées.

Dans cette première phase, comme dans la seconde, on voit l'importance du relèvement propre aux recherches générales et à celles concernant les éléments propres à l'oeuvre qui, en bref, se divisent en études de caractère historique-architectural, en relèvements et preuves de caractère mécanique, de caractère chimique-physique, et en preuves non destructives.

Le relèvement géométrique veut, en ce cadre de produire les descriptions les plus détaillées et les plus raffinées des dimensions de l'oeuvre et des positions spatiales de ses différents éléments.

La chose la plus importante en ce relèvement était de réussir à établir, avec une suffisante précision (dans l'ordre du centimètre) le développement de la parois de Leonardo; c'est à dire créer un réseau de points sur la partie antérieure et postérieure pour pouvoir ainsi opérer des sections horizontales et verticales en nombre suffisant pour une analyse des modèles de la structure, si possible, une fois les éléments finis. Mais le problème était: la parois ferme le réfectoire et l'accès à la partie arrière se fait par l'extérieur et par un chemin tortueux; le front de la parois ne peut pas être touché, à cause de la présence de la célèbre fresque. Il fallait donc un complexe réseau topographique, de haute précision, qui déterminait avec un seul système tous les points sur tous les espaces à l'intérieur et à l'extérieur du réfectoire et, en particulier, sur la parois de Leonardo.

Avant de commencer le relèvement topographique on a fait de nombreuses hypothèses de conformation du réseau et de précision dans la mesure des distances et des angles. On a choisi la topologie et la méthodologie qui, dans les essais simulés, avait mis en évidence ellipses d'erreurs, sur les points les plus critiques, inférieurs au centimètre. Le réseau (fig. 2), très complexe, compensé en bloc, a fourni des erreurs sur les points moyennement de quel-

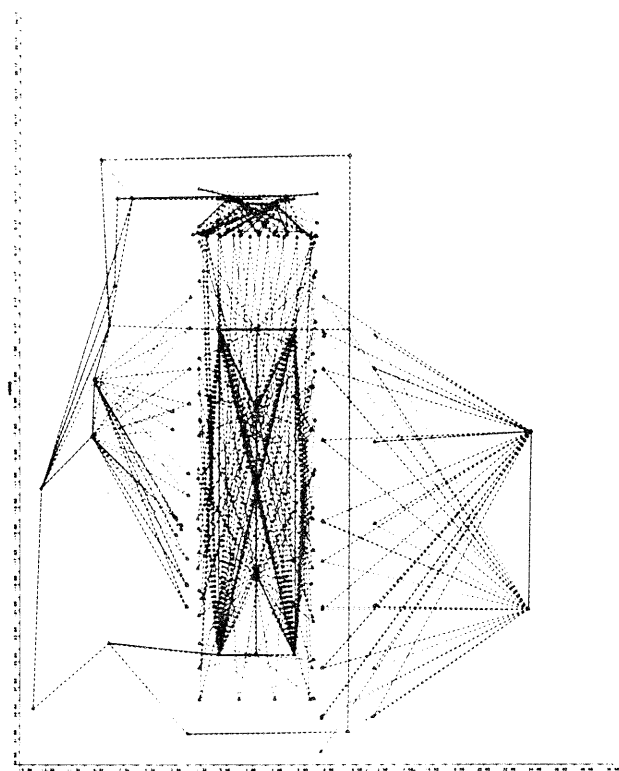


Fig. 2 - Réseau topographique d'appui aux prises photogrammétriques de la parois de Leonardo et du réfectoire de Santa Maria delle Grazie à Milan.

ques millimètres; les points sur la parois peinte, qui logiquement ne peuvent pas être signalisés, ont été réalisés avec un réseau

de fils à plomb portant, chaque mètre, une petite balle de 10 mm de diamètre à peine devant la parois même. Ensuite on a commencé les prises de vue avec des monocaméra pour un ensemble d'une centaine de couples. La restitution, graphique pour les parties architecturales, a été analytique pour la parois. On a créé un réseau avec maille (20 x 20) cm<sup>2</sup> de points devant (fig. 3) et der-

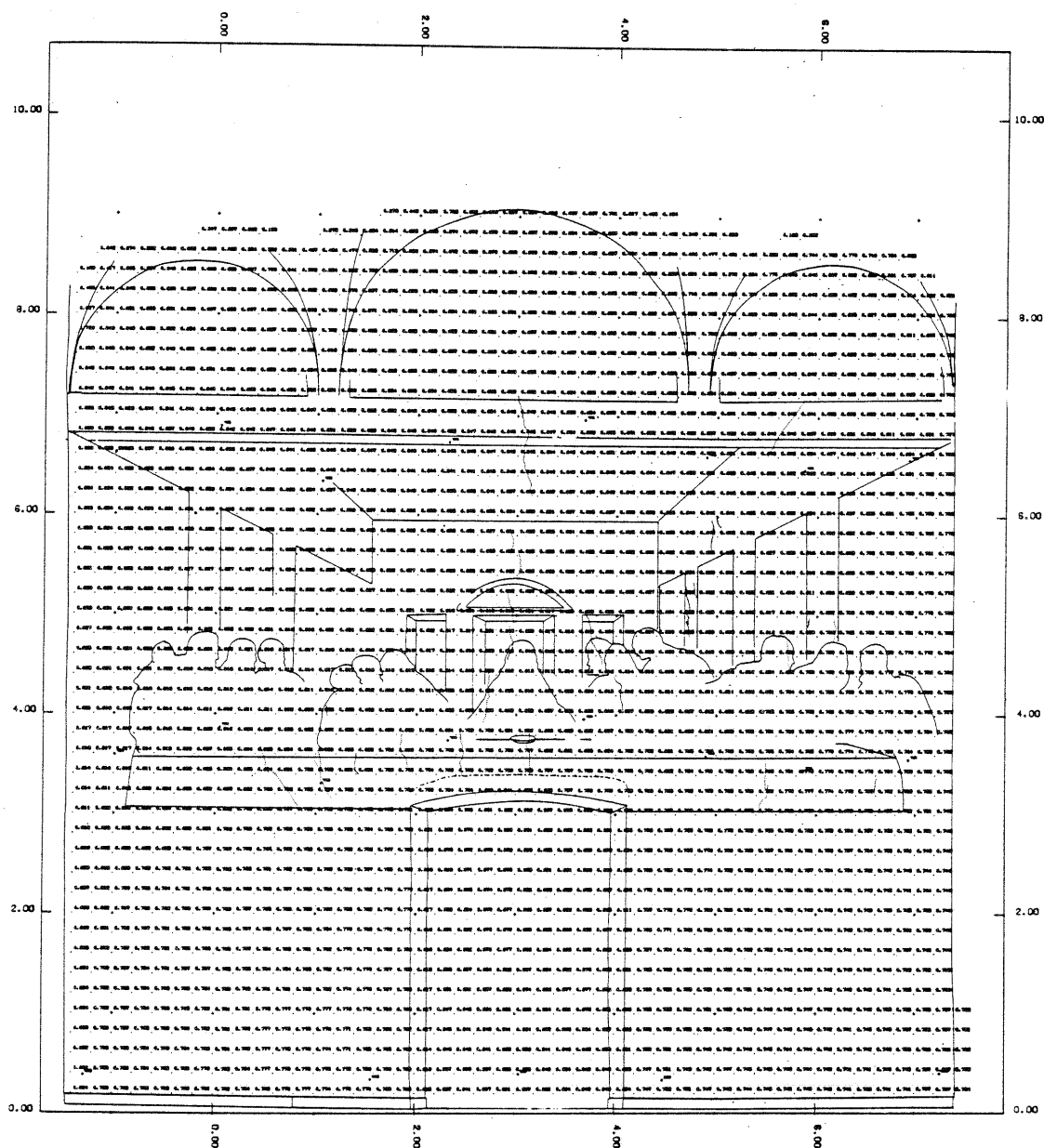


Fig. 3 - Parois de Leonardo. Réseau numérique des points restitués superposé au schéma de la Cène.

rière la parois, et en plus cinq sections longitudinales de la voûte du réfectoire, individuées par des points tout les 20 cm. La production automatique des sections de la parois (fig. 4) a mis en évidence des remarquables irrégularités de la parois même dans les épaisseurs, et en plus hors du plomb et des bombés. Les milliers de points restitués ont fourni une vision spatiale de l'ensemble architectural, que l'on connaissait seulement à peu près, à cause des vicissitudes historiques de remaniement qui

l'ont distingué, à cause des graves dégâts et de sa reconstruction en grande partie après les bombardements de la dernière guerre.

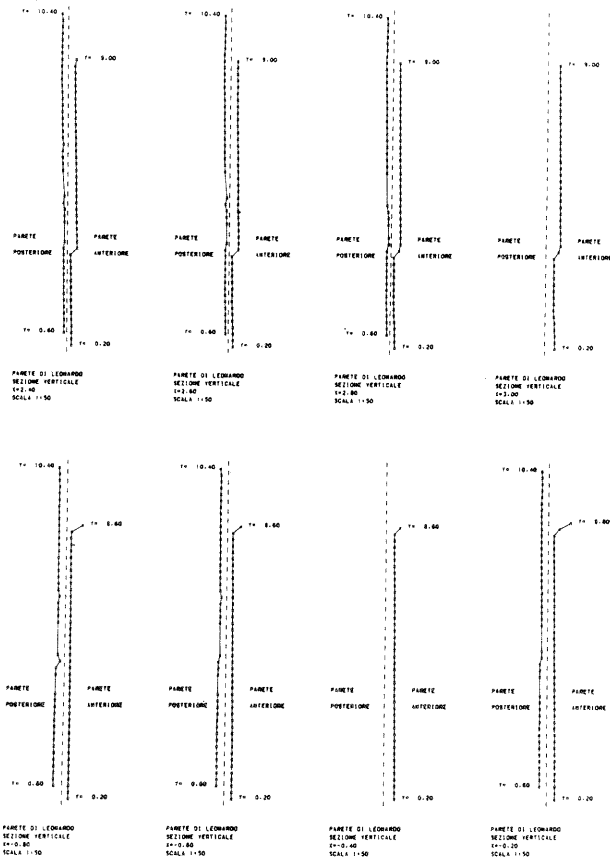


Fig. 4 - Exemple de sections verticales de la parois de Leonardo, tirées automatiquement des réseaux de coordonnées antérieures et postérieures.

Cette importante et absorbante opération de relèvement, jointe aux difficultés des autres recherches exécutées sur le monument, toutes avec le but de tester la sécurité de l'oeuvre, et pour la résistance, et pour la durabilité, a donné une vision globale et réelle de la situation et a permis d'une part une vision plus critique de l'aspect historique-architectural et, d'autre part de formuler, sur des données dimensionnelles et comportatives objectives, des hypothèses de consolidation statique et de mise à régime de tout l'ensemble autour de la "Cène".

#### Le relèvement de S. Vittore in Ciel d'Oro (1983-84)

Il s'agit d'une petite coupole (diamètre d'un peu plus que 4 m) semisphérique, située dans la basilique de S. Ambrogio de Milan. Elle est d'un intérêt exceptionnel parce que complètement réalisée en mosaïque du IV-V siècle et c'est une de rares coupoles qui ont conservé intacte jusqu'aujourd'hui la structure à "tubules" originale. Cela a posé les mêmes problèmes de consolidation statique, avec nécessité de relèvements précis, de contrôles des déformations, d'essais chimiques et autres.

Le relèvement, et surtout la restitution, se sont déroulés en plusieurs mois. Comme chacun sait la prise de vue et la représentation de coupoles est toujours un problème complexe. Avant tout

pour la difficulté objective de faire des prises de vue à une distance compatible avec l'échelle de représentation, toujours très grande si le relèvement est fait pour un but statique; le risque d'être avec les prises de vue en proximité de la circonférence, et de ne pas réussir ou de mal réussir à faire l'orientation relative; la difficulté d'illumination uniforme et non réfléchissante comme dans le cas des parois en mosaïque avec des tesselles d'or; la nécessité, si la représentation veut être complète, de faire des prises de vue zenithales pour la partie haute de la coupole, horizontales pour la partie basse, c'est à dire à l'imposte. Les difficultés de la prise de vue sont propre aussi à la restitution; il est difficile et fatiguant d'observer un objet dans l'ensemble lisse, uniforme et à courbement régulier; il faut restituer des prises de vue zenithales et des prises horizontales, qui doivent toutes les deux fournir une seule représentation; il faut établir ce qu'il faut représenter et comment le faire.

Pour cette coupole on a fait trois prises de vue zenithales (deux couples) et huit horizontales (4 couples), avec monocaméra, en se plaçant en peu plus au dessus du plan équatorial. La signalisation a été réalisée avec un signal à double-face, visible dans les prises de vue verticales ainsi que dans celles horizontales. Le réseau, déjà exubérant comme équations aux mesures et avec les points très près entre eux a donné des ellipsoïdes d'erreurs de l'ordre du millimètre.

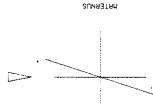
Comme représentation graphique (1:5) on a choisi celle classique à courbes de niveau tout les 20 mm et la représentation (1:10) de l'intrados de la coupole tous les 20<sup>9</sup> et avec un point tous les 20 mm de différence d'altitude, selon des plans méridiens ayant comme nervure la verticale passante par le barycentre moyen obtenu de celui des courbes directrices (tous les 10 cm). Le problème pratique (non théorique) plus important et plus significatif a été l'enchaînement des prises de vue verticales avec celles horizontales pour la représentation à courbes de niveau, et la production des sections à l'intrados même, en particulier, dans la zone d'union entre la partie restituée avec les modèles zenithaux et la partie restituée avec les modèles horizontaux (fig. 5). Le résultat final a été bon et les sections fondamentales pour la construction des cintres à expansion mobile pour le soutien intégral de la coupole pendant les travaux de consolidation et de restauration de l'extrados.

#### Le relèvement du château et de l'antique centre de Vigevano (82-83)

Ce relèvement exprime l'enchaînement d'une série de relèvements de chaque monument et architecture dans une seule dimension de l'alentour urbain. Il s'agit de l'ancien centre de Vigevano, constitué d'un château à plans pentagonales de grandes dimensions, avec un donjon dans la forme typique de H, d'un ensemble d'écuries et d'un grand passage couvert qui conduisait à une demi-lune à l'extérieur. La seule superficie en plan du château mesure à peut-près 2 ha; elle fut agrandie aux dimensions actuelles à la fin du '400 par Ludovico il Moro; des artistes fameux y travaillèrent, parmi eux Bramante et, peut-être, Leonardo. Le château est entouré de l'ancien village, adossé à ses murs, d'une façon telle qu'il est pratiquement "éloigné" de la ville; la place ducale, près de celui-ci, fut autrefois accès fastueux au château et fut fermée par Caramuel (1680) qui réalisait ainsi la typique place régulière de la Renaissance, en lui donnant une significa-

BASILICA DI SANT'AMBROGIO - MILANO  
CUPOLA DI SAN VITTORE IN CIEL D'ORO

RAPPRESENTAZIONE DELLE SEZIONI RADIALI DELLA CUPOLA  
DIGITALIZZAZIONE DELLE SEZIONI CON SCANSIONE OGNI 0.02 m DI Z  
Scala 1:10



SEZIONE N. 2  
AZIMUT - 20. - 220.

DATA DELLE PRESE - LUGLIO 1983  
CAMERA DA PRESA - ZEISS TIK 60  
STRUMENTO RESTITUZIONE - PLANICOMP C100 E PLOTTER DZ7 - ZEISS -

CODIFICAMENTO - C. Monti, P. Giussani  
RESTITUZIONE - A. Vignoli  
COLLABORATORI - M. Gai Livorno, L. Colombo, A. Marzotto  
SORPINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI E ARCHITETTONICI - G. Galatelli

POLITECNICO DI MILANO  
ISTITUTO DI TOPOGRAFIA GEODESIA E FOTOGRAFIA

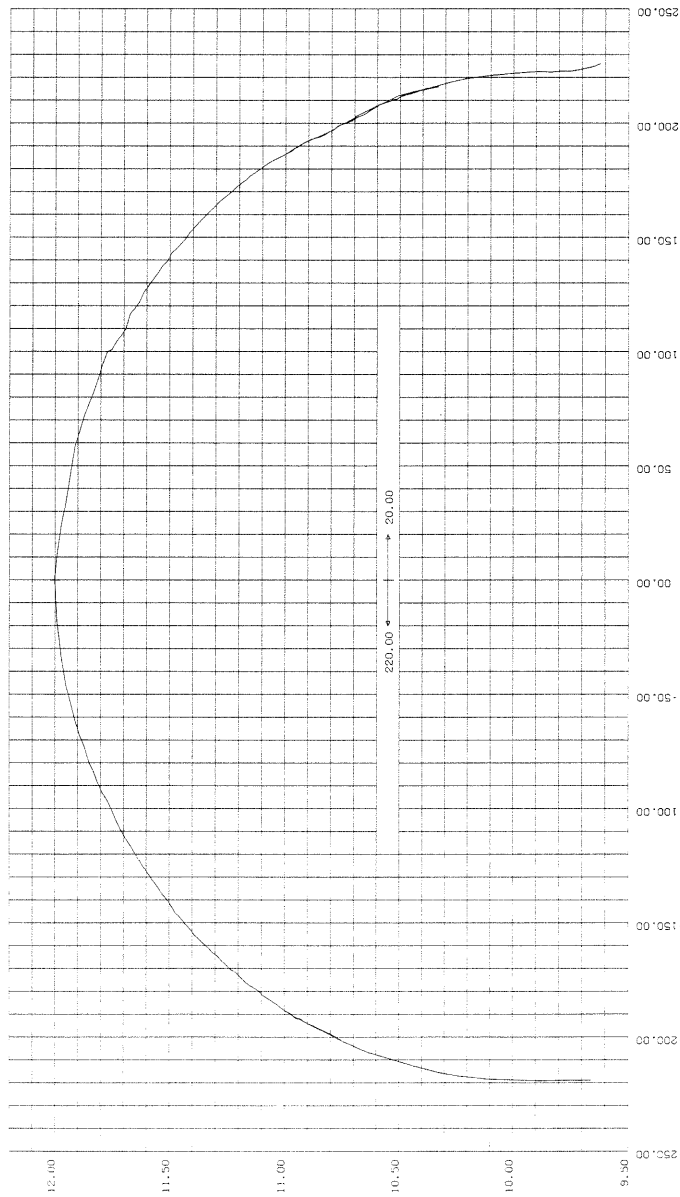


Fig. 5 - Section méridienne de la coupole. On voit la zone de superposition entre les restitutions par prises de vue verticales et prises de vue horizontales.



tion d'urbanisme plus vaste.

En ce contexte urbain exceptionnel étaient nécessaires des relèvements à échelle suffisante et homogènes entre eux et pour la restauration de tout le château, et pour la destination d'utilisation dans le contexte du contour historique représenté du village afférent.

Il s'agissait donc de relever le centre ville et le monument, l'ensemble en dimension urbaine. On a décidé par conséquent pour une carte à 1:200 du complexe entier, avec la possibilité du 1:50 et 1:100 pour les intérieurs et les sections.

Les travaux ont commencés avec un épais réseau de points, constitué par des signaux à terre bien visible sur les photogrammes et en nombre tel que pouvait appuyer chaque modèle sur un minimum de 10 points. De ce réseau principal se sont diffusés des réseaux secondaires qui ont caractérisés au moins deux points dans chaque pièce intérieure du château. Ces derniers étaient la base des relèvements directs à l'intérieur des pièces et aux différents étages.

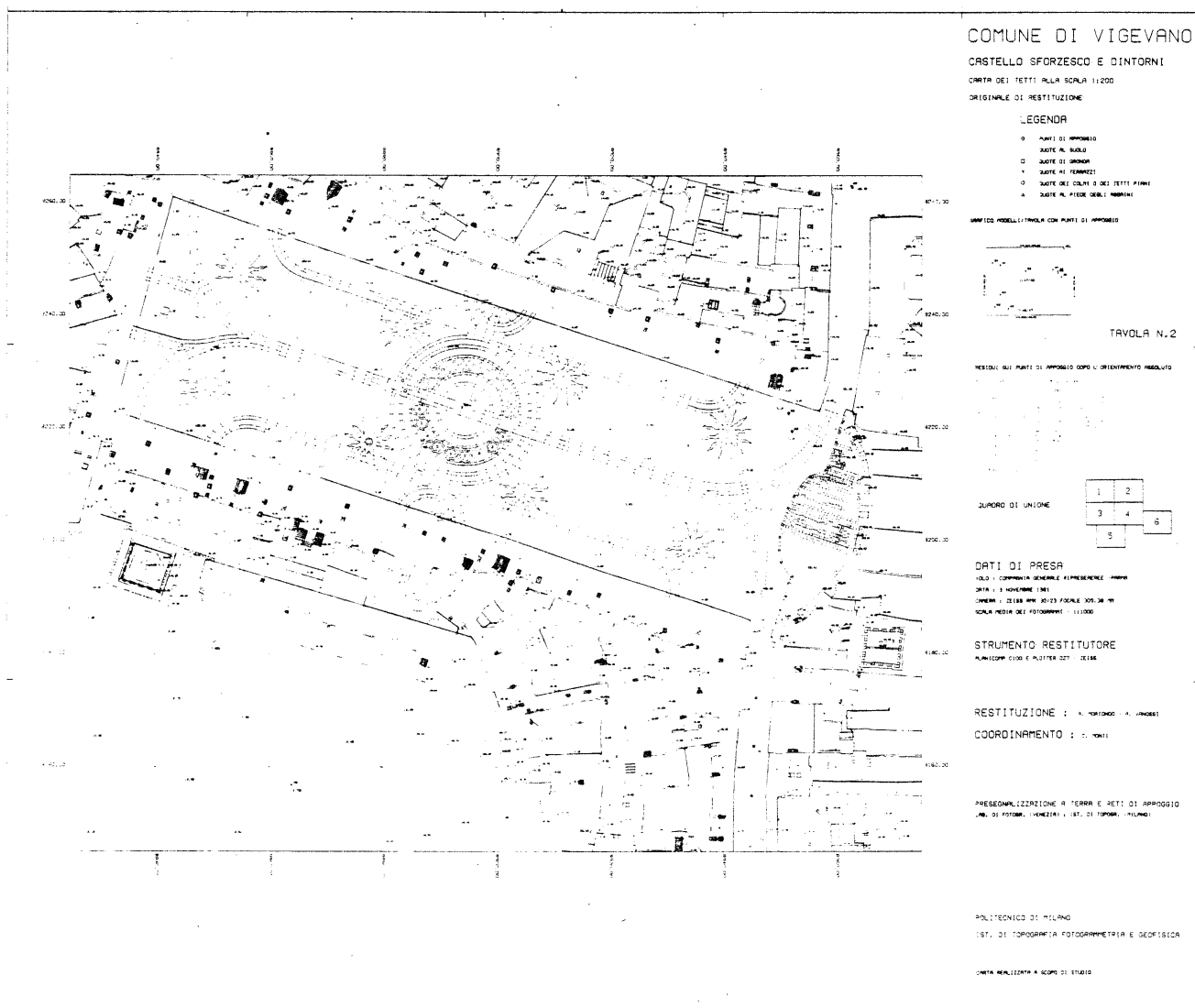


Fig. 6 - Exemple de restitution 1:200 du centre antique de Vigevano.

Le réseau, compensé en bloc plano-altimétrique, a donné de très modestes erreurs (pour le 90% des points inférieur au centimètre). Le relèvement a été fait en couleur avec photogrammes à l'échelle 1:1000; on a fait les prises de vue de tout le château, de tous les édifices près de la place avec bicameras. On a restitué en tout 10 ha au 200 de plan des toits avec, en plus, l'ensemble urbain (fig. 6); aux altitudes symboliquement distinguées par signe, on a attribué la capacité de distinction d'architectures différentes (faîtes, lucarnes, terrasses, avant-toits, sol). La précision de restitution, calculée sur des points de contrôle, est résultée moyennement de 2 ÷ 4 cm. La carte des toits construite d'une telle façon a permis une significative comparaison entre le relèvement des plans intérieurs, construits avec la même méthode d'appui, permettant ainsi d'en tirer par comparaison la variabilité des épaisseurs et en même temps de évaluer plus objectivement les interventions qui se sont déroulées dans les siècles passés. La combinaison de prises de vue aériennes, terrestres et des relèvements directs nous a permis ensuite de construire des sections et des assonométries.

Le résultat a été flatteur, parce que cette intégration des relèvements a une signification qui dépasse la possibilité technique de leur réalisation, et a montré la possibilité de construire une représentation du monument et de la ville qui, si elle ne possède pas encore la "vérité" qui lui donne l'emploi habituel, ni l'homogénéité de la grande tradition cartographique, en suit, toutefois, les principes de réalisation, en persévérant surtout sur les opérations de mesures, en minimisant les contenus purement descriptifs des contrôls et en confiant aux mesures et à leurs relations réciproques le message informatif des résultats.

#### Instrumentation employée

Pour les travaux qu'on a succinctement illustrés, on a employé des monocameras (TMK 60 Zeiss, Wild P 31/10-20) et bicameras (SMK 120 Zeiss) pour les prises de vue terrestres; pour les prises de vue aériennes des cameras à plan normal (RMK 30/23 Zeiss), films Kodak aerocolor 22 Din. Pour les prises de vue terrestres des plaques ou des films pancromatiques, et en couleur. L'appui des prises de vue a toujours été présignalé, et par les terrestres, et par les aériennes; pour ces dernières un petit traînement n'a apporté aucun inconvénient.

Les réseaux ont toujours été déterminés avec une grande redondance et compensés avec les moindres carrés en séparant la planimétrie de l'altimétrie, ou bien en bloc; pour la représentation urbaine (Vigevano), on n'a opéré aucune réduction au plan de Gauss.

On a toujours fait la restitution par des instruments analytiques, vraiment avantageux pour la photogrammétrie terrestre, en particulier par le Planicomp C 100 Zeiss avec HP 1000 unitément à 256 K et table horizontale DZ 7.

Le choix de l'instrument analytique est pratiquement obligatoire si l'on a des focales différentes, des prises de vue inclinées et si l'on veut avoir une efficacité et une rapidité opérative. Le produit graphique a toujours été un original de restitution, sans aucun redessin; le support graphique est le scribing ou le normal papier calque polythéné.

#### Collaborations

En tous les travaux ont toujours collaboré le "Istituto di Topografia, Fotogrammetria e Geofisica" du "Politecnico di Milano"

et le "Laboratorio di Fotogrammetria" du "Dipartimento di Analisi Storica e Critica" de l'"Istituto Universitario d'Architettura di Venezia".

Les travaux ont été toujours commandés par des administrations publiques, en particulier les "Soprintendenze ai Beni Architettonici e Ambientali".