

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 103 (2005)

**Heft:** 8

**Artikel:** La cartographie numérique de la ville de Milan

**Autor:** Bezoari, G. / Monti, C. / Selvini, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-236252>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## La cartographie numérique de la ville de Milan

La ville de Milan a récemment approuvé une nouvelle carte numérique à l'échelle 1:1000 comme base du SIT (système d'information du territoire) actuellement en formation. Les caractéristiques de la carte, ainsi que les opérations effectuées soit en laboratoire soit en campagne, pour la réception de la carte même sont ci-dessous résumées.

*Die Stadt Mailand hat eine neue numerische Karte im Massstab 1:1000 als Basis eines Landinformationssystems erstellt. Die Entstehung der Karte wird nachfolgend beschrieben.*

La città di Milano ha recentemente approntato una nuova carta numerica in scala 1:1000, quale base del SIT attualmente in formazione. Qui avanti sono riassunte le caratteristiche dalla carta, insieme alle operazioni eseguite sia in laboratorio che in campagna, per il collaudo della carta stessa.

G. Bezoari, C. Monti, A. Selvini

Produire une carte numérique à grande échelle pour une ville complexe telle que Milan ce n'est pas quelque chose de facile. Ce n'est plus le temps des cartes simplement stéréophotogramétriques et dessinées au trait, comme c'était d'ailleurs l'avant dernière carte générale de la grande ville lombarde, carte ensuite «numérisée» en 1976 à l'emploi des grandes entreprises publiques locales. Aujourd'hui la nouvelle carte numérique est un produit complexe, une combinaison entre techniques topographiques et photogramétriques «actuelles», mélangées avec les modalités propres de l'informatique. A partir de cette carte, c'est toujours possible d'obtenir des supports papier, soit en blanc et noir soit en couleurs, mais son emploi est bien différent de celui des années soixante-dix et quatre vingt: les éléments utiles à l'auteur des projets ingénieristiques, à l'urbaniste, aux techniques communales y seront tirés avec des moyens informatiques directement des archives originales.

Le papier est réellement «3D», comme on dit aujourd'hui, c'est-à-dire que chaque point, soit du terrain, d'un ouvrage édifié est connu sous ses trois coordonnées; superficies et volumes sont immédiatement

extractibles sous numérique. La réception de la nouvelle œuvre fut commandée aux Professeurs Giorgio Bezoari, Carlo Mon-

ti, Attilio Selvini de l'Ecole Polytechnique de Milan qui exposent ici, en bref, les considérations et les opérations concernant la formation et la réception de la carte technique, qui servira de support au système informatique territorial de la capitale lombarde.

Le réseau géodésique d'encadrement et celui d'épaississement ont comporté des observations pour la détermination de 296 points d'appui plano-altimétrique, déterminés avec l'emploi du relèvement satellitaire GPS, afin d'optimiser le travail et les délais de remise.

Le réseau d'encadrement a fourni la position de 5 sommets distribués sur toute la surface de la ville, dont 3 sont les sommets du réseau géodésique IGM95 et 2 sont des nouveaux sommets matérialisés. Les mesures de contrôle ont été effectuées en réalisant 8 «baseline» indépendantes avec des récepteurs à double fréquence, relevées en modalité statique

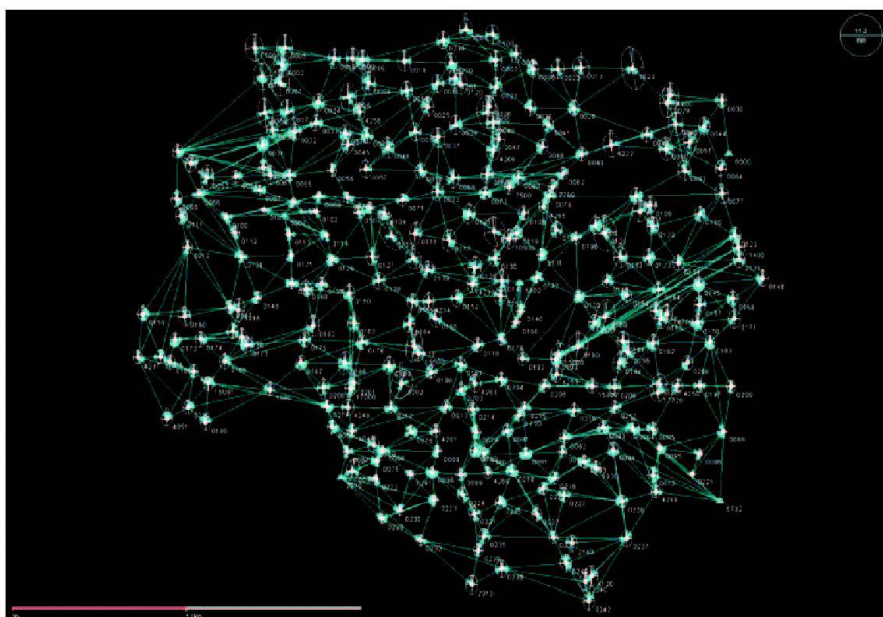


Fig. 1: Réseau d'épaississement.

	Moyenne sur 296 sommets	Min.	Max	m.s.e.
$\Delta \varphi$	0.00004"	- 0.00119"	0.00137"	0.00046"
$\Delta \lambda$	- 0.00019"	- 0.00167"	0.00134"	0.00058"
$\Delta \eta$	0.010 m	- 0.030 m	0.045 m	0.011 m

Tab. 1.

	Moyenne (m)	Min. (m)	Max (m)	m.s.e. (m)
X	0.005	- 0.029	0.040	0.016
Y	0.001	- 0.040	0.021	0.013
Z	0.005	- 0.021	0.037	0.014

Tab. 2.

avec des sessions moyennes d'environ deux heures et en fournissant pendant l'élaboration des bases, eqm (mse) inférieurs à 3 mm dans les coordonnées XY et 4 mm en direction Z.

La compensation du réseau avec des bases indépendantes, après avoir fixé les sommets du réseau IGM 95, a fourni les valeurs des coordonnées géographiques de deux nouveaux sommets dans le système WSG 84. La réception a vérifié la congruence des résultats fournis par l'ATI avec la nouvelle élaboration des données brutes observées, en obtenant des précisions très élevées.

Le réseau d'épaississement a fixé la matérialisation et la détermination de la position de nouveaux sommets, avec les mesures de 845 «baseline» indépendantes en utilisant des récepteurs géodésiques à double fréquence avec des sessions moyennes d'environ 1 heure (fig. 1).

Premièrement la réception a constaté la congruence des mesures des bases, par un contrôle automatique de fermeture des éléments triangulaires pour un total de 608 mailles triangulaires.

La comparaison entre le réseau compensé à la base de la réception et les coordonnées fournies par l'ATI a déterminé les variations moyennes suivantes (voir Tab. 1). Les variations ont été interpolées afin d'engendrer des modèles digitaux de variation en latitude, longitude et niveau ellipsoïdal, pour une meilleure compréhension du phénomène.

Nous sommes passés de sommets relevés dans le système WSG84 au Roma40, selon une grille déterminée au niveau national par le IGM. Le contrôle avec transformations de coordonnées à sept paramètres montre une erreur systématique de la nouvelle grille par rapport aux vieilles monographies fournies par le IGM, qui cause des variations moyennes telles que:

- 0.13 m sur la coordonnée Nord
- 0.05 m sur la coordonnée Est
- 0.03 m sur le niveau orthométrique.

Le schéma des bases relevées est une géométrie à étoile dans laquelle le sommet central a été considéré comme fixe (coordonnées géographiques WSG84réseau de réception) et les bases ont été compensées en modalité «single base».

Les valeurs déterminées pendant la réception ont été rapportées aux données fournies par le relèvement et le tableau qui suit explique en synthèse les variations moyennes obtenues (voir Tab. 2).

Les valeurs résultantes sont inférieures aux paramètres de tolérance fixés dans le cahier des charges égal à 0.15 m pour la planimétrie et 0.10m pour l'altimétrie: un tel résultat était attendu vu la modalité du relèvement adopté (GPS). La restitution a été exécutée soit avec des instruments analytiques soit digitaux. Les résultats de l'emploi des restituteurs analytiques ont été, selon le point de vue métrique, variables comme ceux obtenus avec la photogrammétrie digitale. Mais cette dernière, au moment de la vérification, a été beaucoup plus flexible, productive et puissante du point de vue de la qualité. En tout cas on a trouvé que les écarts entre les points restitués et les points contrôlés pendant la réception, ont toujours été très inférieurs aux tolérances, aussi bien en planimétrie qu'en altimétrie.

Sur environ 2600 points pour 50 modèles (le 5% du total) la presque totalité des erreurs-types a été deux fois inférieure au mse. Au total mentionné, seulement 11 points ont eu des écarts-types majeurs de 2 s (étant s = 19 cm): un pourcentage bien inférieur à celui établi dans la diséquation connue de Tchebychef. Ceci a été bien sûr causé par la très basse incertitude du réseau d'encadrement et des points d'appui des modèles.

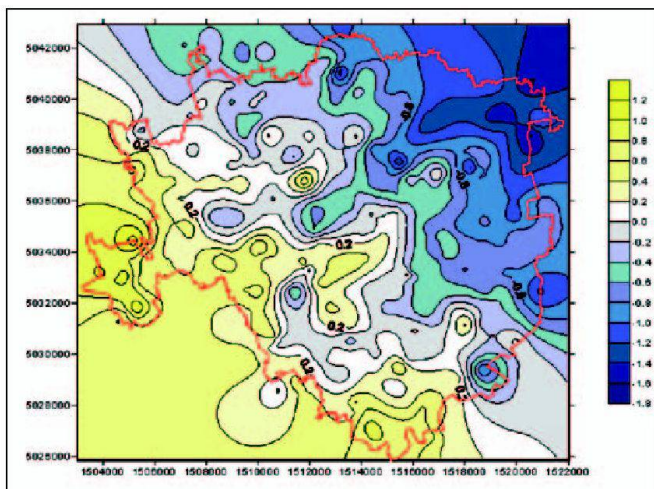


Fig. 2: Variation de latitude.

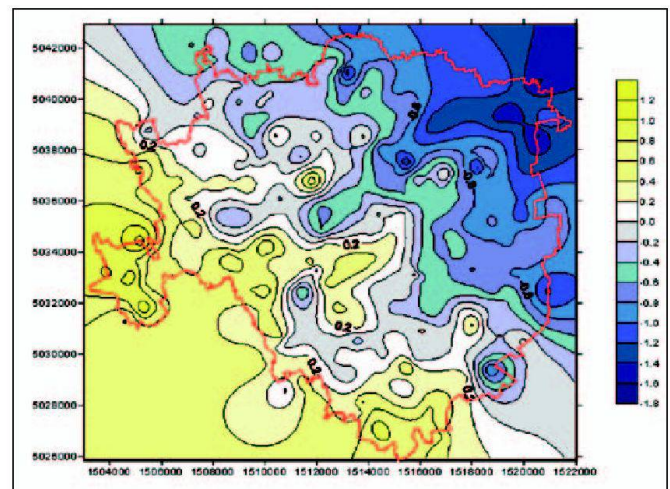


Fig. 3: Variation de longitude.

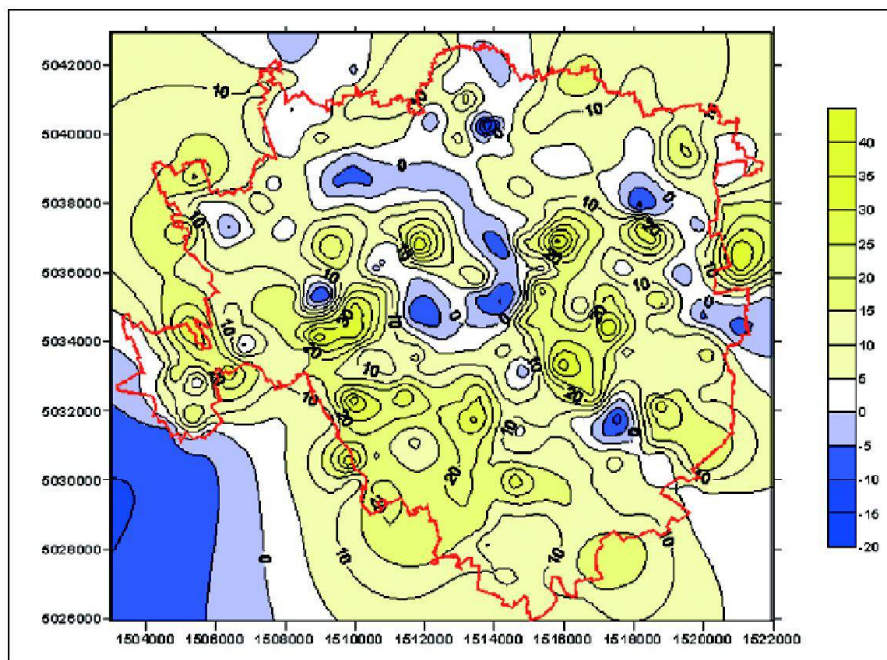


Fig. 4: Variation de la hauteur ellipsoïdale.

La carte, conformément au cahier des charges, prévoit certains aspects peu communs dans les cartographies numériques: il faut bien distinguer entre isolé, c'est à dire les superficies bâties délimitées sans discontinuité par des espaces publiques: les tronçons, ou les routes ordinaires, les autoroutes, ponts, passages supérieurs et passages inférieurs, avec les corps superficiels; les noeuds ou la superficie d'une place, d'un élargissement, la croisée entre deux ou plusieurs routes à mémoriser comme cassée fermée; et, pour finir, les numéros des rues avec leurs pertinences.

Quelques mots sur le contrôle de l'editing. Les réceptionnaires ont examiné tous les files de restitution originels: le contrôle, sur un total de 17 feuilles de papier, a montré que toutes les données venant de la reconnaissance ont été correctement insérées dans la cartographie éditée. Les contrôles de type statique ont indiqué qu'il n'y a pas eu des déplacements entre les éléments restitués et ceux mis en editing.

Les vérifications ont porté, sur les mêmes 17 feuilles, sur la série des interventions pendant cette phase opératoire par la station adjudicataire, c'est à dire les codifi-

cations des entités restituées, les intégrations géométriques, l'introduction de la toponomie, les numéros des rues et des pertinences, la reconstruction des congruences géométriques ou graphiques et des agrégations, la viabilité (et nœuds) et les graphiques des routes.

Parmi les phases d'essai, celle qui a changé le moins, dans le cas de la cartographie numérique, concerne la reconnaissance. Il y a, en effet, dans le tissu très «humain», des éléments qui difficilement peuvent

être interprétés et pour cette raison sont correctement restitués seulement en partant du modèle optique.

On connaît tous les difficultés de la restitution «automatique», c'est à dire celle qui remplace l'opérateur des algorithmes de différentes grandeur et nature, difficultés qui sont de type sémantique, ou correspondant à l'interprétation correcte d'un certain élément, soit anthropique soit naturel. Dans une mesure plus limitée, ces difficultés sont aussi rencontrées par l'opérateur humain, clairement plus subjectif d'un algorithme mais aussi plus sûrement capable de discernement entre les contenus de l'image.

La réception qui a employé beaucoup de topographes indigènes, c'est à dire des bons connaisseurs du terrain, a été en général correcte; les topographes ont vérifié les très nombreuses informations et modifications recueillies sur le terrain pour chaque feuille (en total 340).

La plupart des feuilles examinées contenaient seulement des petites discordances qui concernaient en général des éléments d'importance secondaire aux buts interprétatifs soit des arbres, des kiosques de journaux, garages, trottoirs ou les éléments précaires. Les opérations d'essais sur le terrain ont été réalisées en partant du réseau principal avec des récepteurs à double fréquence, tandis que les observations de détail ont été effectuées avec la méthode tachéométrique.

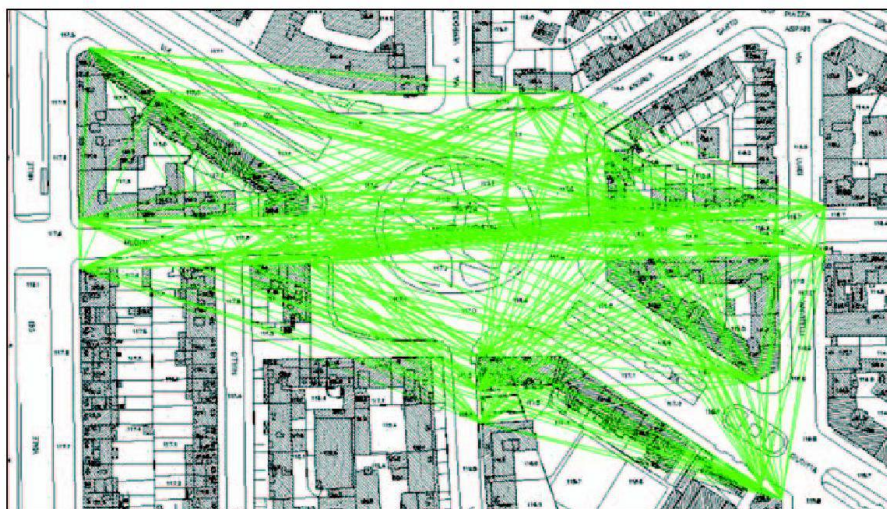


Fig. 5: Schéma géométrique des distances planimétriques d'essais.

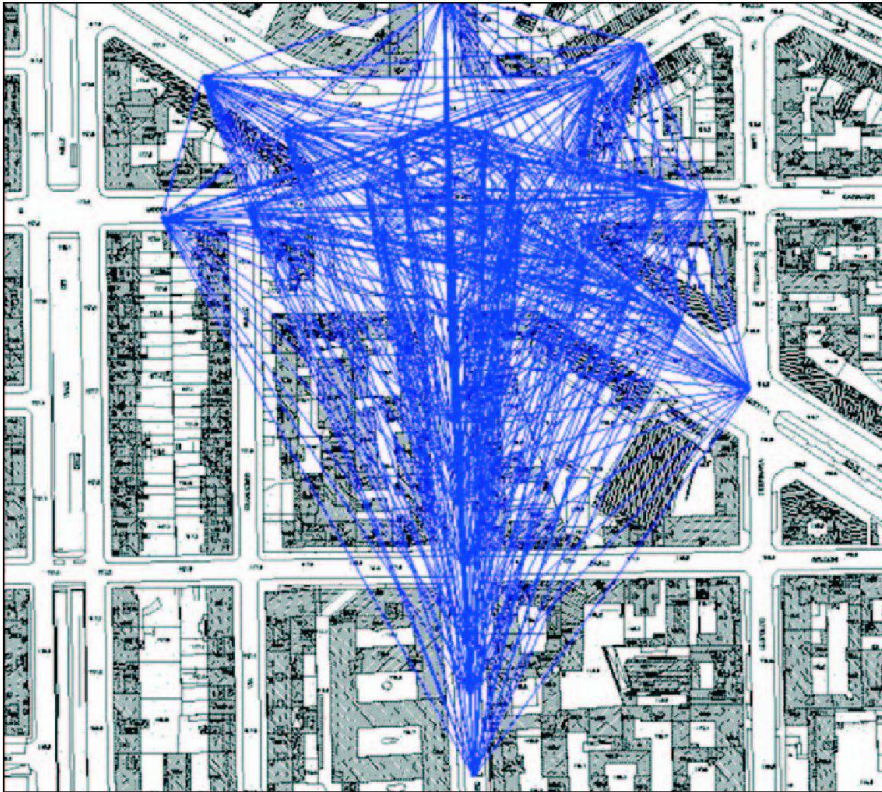


Fig. 6: Schéma géométrique des dénivellations d'essais.

On a réalisé un total de 1240 mesures de position de points bien déterminés sur la carte. Pour la détermination des distances entre les points planimétriques relevés pour chacune des 35 feuilles on a procédé à une analyse globale de toute la carte produite, c'est à dire les distances ont été déterminées dans une première phase entre les points qui appartiennent à une seule feuille, et dans une deuxième phase tous les points mêmes de toutes les feuilles analysées. On a pris au total 768180 mesures de distances relatives: dont 6175 sont hors tolérance (variable entre 0.30 m et 0.60 m) avec un pourcentage de 0.80%, tout à fait satisfaisant. Aux buts altimétriques, on a réalisé 1139 mesures de hauteur de points bien loca-

lisés, et, parmi eux, 5 sont hors tolérance. Le pourcentage sur le total des sommets relevés pendant la réception qui dépasse la tolérance est égal à 0.44% et, donc, le résultat a été positif. En déterminant les dénivelées entre les points cotés relevés pour chacune des 35 feuilles réceptionnées on a procédé à une analyse globale de toute la cartographie produite, à savoir les dénivelées ont d'abord été déterminées entre les points appartenant à une seule feuille et, dans une deuxième phase, entre tous les points mêmes de toutes les feuilles analysées. Au total on a calculé 648091 dénivelées, et, parmi elles, 2633 sont hors tolérance avec un pourcentage sur le total des mesures égal à 0.41% ici aussi satisfaisant.

Dans la phase conclusive de la réception sur le terrain on a vérifié la largeur des routes internes aux zones urbaines, afin de s'assurer de l'application correcte de l'égouttement. Dans cette phase on a mesuré dans l'ensemble 1837 largeurs routières (une moyenne de 51 par feuille) et parmi celles-ci 89 sont hors tolérance prévue, avec un pourcentage de mesures de 4.8%. Des éditions de la nouvelle cartographie milanaise sont disponibles sur «compact disc» ou sur DVD, insérables et lisibles, et aussi projetables sur l'écran, à couleurs ou en B & N, avec un PC approprié. L'édition en papier est prête, tout comme des exemplaires en couleurs, qui pourront être fournis sur demande soit sous en format papier soit sous forme informatique.

#### Bibliographie:

- 1 Amadio, G.: La cartografia numerica come base per i sistemi informativi territoriali: formazione, aggiornamento, standardizzazione, collaudi, Boll. SIFET, n. 4/96.
- 2 Selvini, A.: La cartografia di base per i sistemi informativi territoriali, Boll. SIFET, n. 3/96.
- 3 Grün, A., Wang, X.: CyberCity Modeler, a tool for interactive 3-D city model generation. Photog. Week '99, Wichmann Verlag, 1999.

Prof. Ing. Attilio Selvini  
Giorgio Bezoari  
Carlo Monti  
Politecnico, sez. Rilevamento DIAR  
P.za L. da Vinci 32  
I-20133 Milano  
attilio.selvini@polimi.it