

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: 106 (2008)

Heft: 4

Artikel: Un essai italien de photogrammétrie directe

Autor: Bezoari, G. / Selvini, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236510>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

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

Un essai italien de photogrammétrie directe

Avec «photogrammetrie directe» ou photogrammetrie de l'ère inertielle (1) on entend le processus dans lequel les prises aériennes ne nécessitent plus l'appui conventionnel à terre et non plus la triangulation aérienne, en étant, de toute façon le centre de prise défini par ses coordonnées relevées aux mesures satellitaires (GPS), tandis que l'assiette de la chambre de prise, digitale ou conventionnelle, est fournie par des mesures inertielles (INS).

Mit «direkter Photogrammetrie» oder Photogrammetrie der inerziellen Ära bezeichnet man den Prozess, bei dem die Luftaufnahmen weder der Bodenunterstützung noch der Aerotriangulation bedürfen, da sie ohnehin mit GPS-Koordinaten definierte Aufnahmezentrum sind, während die Lage der Aufnahmekamera, numerisch oder konventionell, durch inerzielle Messungen (INS) geliefert wird.

Con «fotogrammetria direct» o fotogrammetria dell'era inerziale (1) si intende il processo in cui le riprese aeree non necessitano più del supporto tradizionale a terra e nemmeno della triangolazione aerea. Infatti, il centro di ripresa è definito dalla coordinate rilevate con le misure satellitari (GPS), mentre l'assetto della camera di ripresa, digitale o convenzionale, è fornito da misure inerziali (INS).

G. Bezoari, A. Selvini

La littérature internationale correspondante est désormais considérable; en conséquence aussi concernant certains «tests», effectué dans les derniers cinq ans, comme rappelé en bibliographie (2, 3), tandis que l'Université de Pavie a organisé en 2002 un séminaire international approprié (1), et d'autres indications se trouvent dans des publications spécifiques plus récentes (4, 5, 6, 7).

La photogrammetrie aérienne qui a comme but la cartographie est passée de l'ère «analogique», quand le calcul numérique était en effet impossible, à celle «analytique», favorisée, au contraire, par le développement du calcul numérique et marquée par l'apparition du restituteur AP1, (ensuite AP/c), de la OMI de Rome en collaboration avec Bendix.

La photogrammetrie analytique a été accolé, à partir des derniers quinze ans du siècle dernier, et semble destinée à être remplacée, par la phase digitale, à cause de laquelle la «voiture» a totalement disparu, c'est-à-dire non seulement l'instru-

ment de restitution optique-mécanique de l'époque analogique, mais aussi le stéréocomparateur de la période analytique. La mesure sur l'image dans ce cas n'est plus nécessaire, car l'image même est une matrice, obtenue par chambres «digitales» ou par chambres à pellicule avec le traitement successif de scannage. Un excursus historique synthétique dans le cadre de ces problématiques part de la fin des années 70 du siècle dernier, avec l'apparition de plates-formes aptes à fournir des données sur les inclinaisons φ et ω , pour ensuite passer à l'emploi du GPS à bord des avions équipés pour les reprises photogrammétriques et pour arriver, finalement, dans les ans Quatre-vingt-dix, aux instruments de mensuration intégrés avec des capteurs inertIELS, avec référence spéciale aux instruments de positionnement géoréférencé pour les véhicules et les avions du «Applanix» (usine du groupe Trimble, née en 1991).

Afin de souligner la qualité des résultats qu'on arrive à obtenir, nous signalons ci-dessous les incertitudes de mensuration de la position et de l'inclinaison, avec le dispositif POS/Av (Position and Orientation Solution for Airborne Vehicles), mod.



Fig. 1: Un photogramme du vol Terra Italy 2000.

510 (employé dans le vol auquel on fera référence)
 m.s.e. en X, Y, Z : 0,05 ÷ 0,30 m
 m.s.e. en φ et ω : 0,005 g
 m.s.e. en κ : 0,008 g

Avec une comparaison et une référence historique, on confirme que l'aérophotogrammetrie est revenu à l'origine même des prises photogrammétiques terrestres, avec les photothéodolites qui mesuraient directement les paramètres de ce qu'on appelle «orientation extérieure» du photogramme, c'est-à-dire les trois rotations de la plaque de prise et les trois coordonnées du centre de la perspective, plus ou moins avec la même incertitude aujourd'hui possible avec le dispositif indiqué ci-dessous.

À la naissance de la photogrammetrie aérienne ceci était impossible, malgré les tentatives de calcul et les dispositifs auxiliaires inventés par de nombreuses personnes (sommet de pyramide, périscope solaire de Santoni, chambre d'horizon de Nenonen, statoscope de Väisälä) parce que ce n'étaient que des moyens d'incertitude élevée et pour cela, à la limite, aptes à la cartographie à petite échelle. La nécessité de résoudre le problème de «position», sans le coût élevé de nombreux «points d'appui» nécessaires pour chaque couple et relevés avec les méthodes topographiques coutumières, mena à la naissance de la «triangulation» ou aussi «polygonation aérienne» (Theorie

<p>Localizzazione: Vertice esterno della linea tratteggiata di margine lato sinistro della strada provinciale n° ____ in direzione del «terminal 2» dell'aeroporto in prossimità della ditta «Caproni» Riferimento cartografico 1:2000 Foglio E09:</p>	<p>Accesso: Libero Materializzazione: Vertice bianco della linea tratteggiata/centro della circonferenza in vernice rossa.</p>								
									
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="579 898 1000 943">Coordinate:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="579 943 817 1055">Geografiche (Roma 40) φ: 45.29.08,0760 λ: -3.14.05,8002</td><td data-bbox="817 943 1000 1055">H_{ort.}: 122,04</td></tr> <tr> <td data-bbox="579 1055 817 1167">Geografiche (WGS84) φ: 45.29.10,5015 λ: 9.13.01,4033</td><td data-bbox="817 1055 1000 1167">H_{ell.}: 164,91</td></tr> <tr> <td data-bbox="579 1167 817 1264">Plane (Gauss-Boaga) N: 5.037.011,56 E: 1.516.989,02</td><td data-bbox="817 1167 1000 1264">Plane (UTM WGS84) N: 5.036.991,88 E: 516.962,06</td></tr> </table>	Coordinate:		Geografiche (Roma 40) φ: 45.29.08,0760 λ: -3.14.05,8002	H _{ort.} : 122,04	Geografiche (WGS84) φ: 45.29.10,5015 λ: 9.13.01,4033	H _{ell.} : 164,91	Plane (Gauss-Boaga) N: 5.037.011,56 E: 1.516.989,02	Plane (UTM WGS84) N: 5.036.991,88 E: 516.962,06
Coordinate:									
Geografiche (Roma 40) φ: 45.29.08,0760 λ: -3.14.05,8002	H _{ort.} : 122,04								
Geografiche (WGS84) φ: 45.29.10,5015 λ: 9.13.01,4033	H _{ell.} : 164,91								
Plane (Gauss-Boaga) N: 5.037.011,56 E: 1.516.989,02	Plane (UTM WGS84) N: 5.036.991,88 E: 516.962,06								

Fig. 2: Monographie d'un point déterminée avec GPS.

und Praxis von Aeronivellement und Aeropolygonierung, 1938, par Otto von Gruber).

Cette opération, au début appliquée avec des moyens analogiques à des cartes à petite échelle, s'est énormément modifiée et affinée au cours d'un demi siècle, jusqu'à devenir, aujourd'hui, pour n'importe quel cartographie même à très grande échelle, le seul outil rapide, fiable, économique pour produire des cartes au moyen de prises aériennes. Mais tout semble en train de changer encore une fois: aussi dans le cas des prises aériennes, avec les moyens indiqués ci-dessus, par exemple avec le système Applanix, même la triangulation aérienne semble devenue inutile; il faut toutefois encore de la prudence comme indiqué, de toute façon, par de nombreux interventions contenues en (1).

Test expérimental

Dans le contexte illustré dans le préambule se situe le «test» auquel on se réfère ici, relatif aux possibilités concrètes de réalisation de la photogrammétrie directe: une chose est l'expérimentation sur des polygones aptes, l'autre c'est de faire de la cartographie dans le domaine «commercial», c'est-à-dire produire des cartes par l'adjudication d'organismes publics, comme il est coutumier maintenant avec l'aide de la triangulation aérienne, plus ou moins automatique. Nous croyons que notre essai, en réalité très réduit et limité, est le premier en Italie qui utilise un vol non spécifique et qui concerne une cartographie au 1:2000, normalement employée par les Communes pour la rédaction des plans régulateurs généraux. Le vol date de 2002, exécuté par le CGR

de Parme, (Compagnie Général Reprises aériennes), avec le nom de «Terra Italy» et couvre, en pratique, l'entier du territoire national. La petite partie ici considérée concerne une zone à l'ouest de l'aéroport intercontinental de Malpensa, avec un terrain plat, sauf pour une partie avec des côtes dégradantes sur le grand fleuve, mais vivement antropiquée.

On a choisi, comme points de référence des éléments de signalétique routière horizontale, seuils d'entrées charrières, pavés et, de toute façon, des particularités qui gisaient au sol. L'échelle moyenne du vol, exécuté avec une caméra Wild RC30, $c = 303,47$ munie de FMC et asservie ci-dessus au dispositif Applanix mod. 510 est d'environ 1:9000, typique donc de la cartographie à l'échelle 1:2000 (fig. 1).

De chaque point choisi, bien identifiable sur les photogrammes et aisément accessible avec un véhicule, une monographie complète d'images aptes a été rédigée (fig. 2). Pour la détermination topographique des points nécessaires à l'essai, on a employé des récepteurs Trimble 4000 SSI à fréquence double, avec modalité opérationnelle «fast-static», avec station fixe reliée aux deux gares connues (Gavirate et Vigevano) de la Région Lombardie.

Les mesures se sont déroulées sur un total de cinq jours entre avril et juin 2007; la station «rover» a effectué des observations de 15 minutes en chaque point, avec de reprises tous les 10 secondes; le nombre de satellites observés a toujours été supérieur à 4. Les coordonnées géocentriques de tous les points ont été déterminés en utilisant le programme «Trimble Total Control», tandis qu'avec le programme «VertoGis» on a obtenu, ensuite, les transformations soit dans le système national italien Gauss-Boaga ainsi que en celui désormais universellement répandu UTM, avec référence à l'ellipsoïde WGS84; évidemment les altitudes ellipsoïdiques ont été transformées en altitudes orthométriques.

La restitution digitale a été exécutée deux fois, avec la station Zeiss-Intergraph: soit avec les seules données «dirigées» (Applanix) qu'avec l'appui habituel de la triangulation aérienne, de sorte à avoir une

deuxième possibilité de comparaison, au-delà de celle fondamentale entre points rendus en modalité «directe» et points déterminés avec le GPS.

Comparaisons statistiques

Les comparaisons et les données statistiques ont été réalisées et obtenues, en employant trois différentes comparaisons:

- la valeur obtenue des observations GPS étant donnée pour «vrai», toujours en sens statistique, (avec des incertitudes de quelques centimètres), on a comparé les coordonnées E, N, Q entre la restitution Applanix et les valeurs GPS;
- la deuxième comparaison concerne la restitution habituelle avec l'appui de la triangulation aérienne analytique digitale et les valeurs GPS;
- pour finir, on a comparé les coordonnées des deux différentes restitutions, Applanix et la triangulation.

L'illustration 3 montre histogrammes et graphiques à tourte par rapport aux déchets planimétriques et, en partie, entre les coordonnées GPS et la restitution Applanix. L'illustration 4 indique, dans le même ordre, les déchets en planimétrie et en hauteur concernant la restitution par l'intermédiaire de la triangulation aérienne. Pour terminer, l'illustration 5 expose les déchets des positions planimétriques et des altitudes, entre les deux types de restitution: directe et traditionnelle.

Ce qui est à remarquer dans cette comparaison c'est la somme des écarts en altitude qui est assez semblable à celle relevée entre restitution directe et valeurs de référence GPS, ce qui signifie, encore une fois, qu'au vu des restitutions en photogrammetrie directe des isodonnées, c'est surtout la donnée altimétrique. Au contraire, les écarts en planimétrie sont du même ordre et de la même distribution que ceux qu'on a vu pour la comparaison restitution directe-GPS.

Résultats obtenus

Les résultats sont très intéressants, surtout si on observe les m.s.e. pour les trois

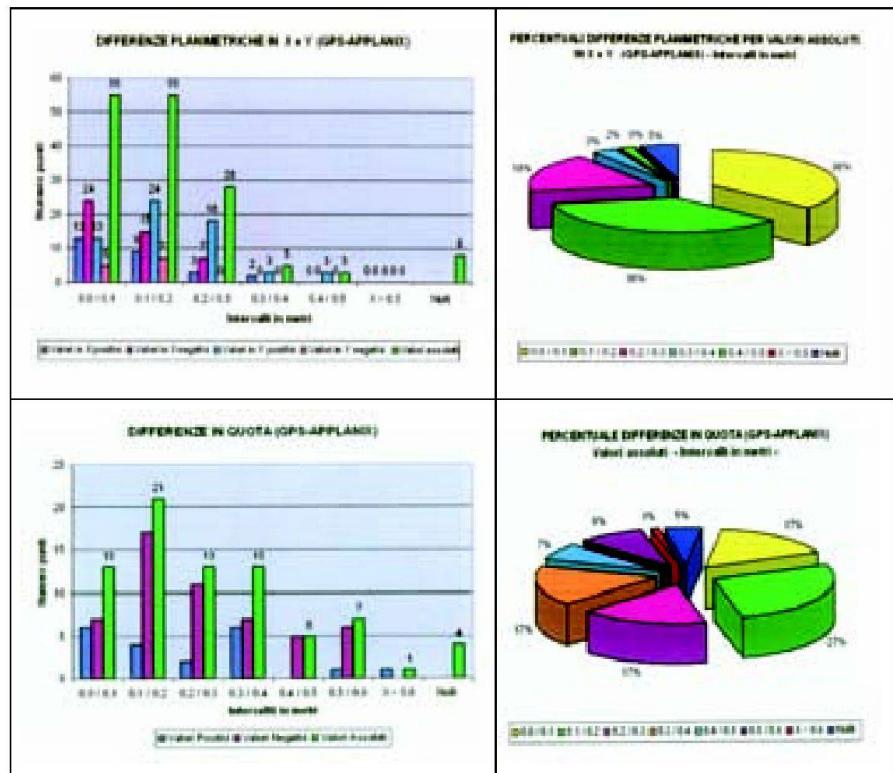


Fig. 3: Ecart en planimétrie et altitude entre coordonnées GPS et coordonnées par restitution Applanix.

comparaisons. Tout d'abord, on voit que les écarts quadratiques moyens sont du même ordre de grandeur dans les premiers deux cas; ceci signifie que l'incertitude sur les trois coordonnées est, de toute façon, à peu près à un quart de la tolérance en planimétrie et à un tiers en altitude, qu'on procède par restitution directe ou par triangulation aérienne préalable.

Il faut toutefois remarquer que la somme des déchets est en partie, dans le cas de la restitution directe, élevée et négative, ce qui fait supposer une faute systématique: cf. en 1; ici aussi la somme des déchets DN est élevée positive, alors que dans le cas de la restitution avec triangulation cette somme aérienne est élevée mais aussi négative. La somme des déchets en altitude est ici par contre blanche en soutien de l'hypothèse de leur distribution casuelle. Il faut aussi remarquer comme dans la restitution 12 parts directes sont des déchets à peu près dans la tolérance, alors que dans le cas de la restitution triangulée ceci arrive seule-

ment pour un point; ceci renvoie à l'incertitude de détermination en altitude de la restitution directe, comme déjà indiqué en (1).

Conclusions

En définitive et, en tenant aussi compte de l'étendue limitée de la zone rendue, même de celle d'une petite commune, il semble qu'on puisse dire que la restitution directe de prises géorapportées en vol soit déjà applicable aux petites adjudications de cartographie numérique communale, à l'échelle 1:2000. N'oublions pas que le coût de l'appui à la terre et du TA représente un pourcentage discret, et même si ce n'est que 20% sur le coût global du travail pour lequel l'économie pour une commune que disponibilités financières limitées n'est pas insignifiante.

Pour de grandes étendues, il est probable qu'au stade actuel de l'art il vaille ici aussi le coup d'employer la photogrammétrie directe, renforcée par quelques rele-

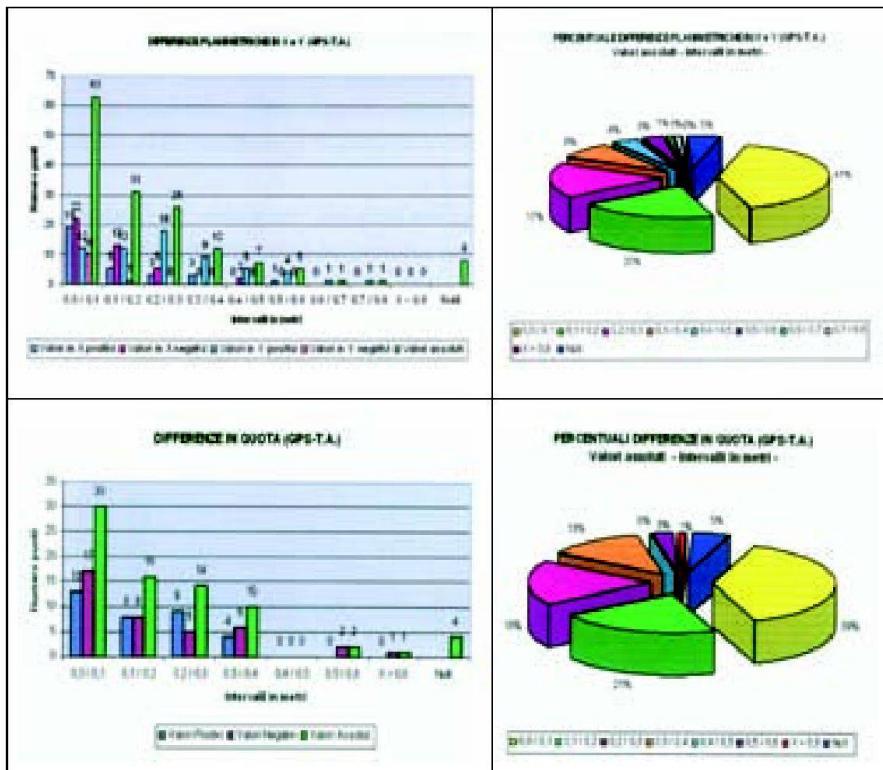


Fig. 4: Ecarts en planimétrie et en altitude entre les coordonnées GPS et les coordonnées de restitution avec la triangulation aérienne.

vés à terre avec le GPS, de sorte de rendre la restitution plus liée, en outre avec un contrôle discret réalisable par l'intermédiaire de la restitution «directe» de tels points et comparaison relative. Notre expérimentation a concerné uniquement la restitution de points: il est évident que la

restitution cartographique complète était ici inutile; dès le moment que le but était de rechercher l'incertitude quantité – métrique, en étant le qualitatif descriptif hors discussion, car il dépend seulement de l'échelle moyenne et de la qualité des images et non pas de leur géoréférence.

Bibliographie:

- AA.VV. La fotogrammetria nell'era inerziale, seminario internazionale. Pavia, 13–14 giugno 2002.
- G. Forlani: Il test OEEPE Integrated Sensor Orientation. Boll. SIFET, n° 2/03.
- G. Bezoari, M. Crespi: Un capitolato di fotogrammetria con GPS: il volo della Regione Calabria. Seminario Internazionale, Pavia, 2002.
- M Cramer: Direct Geocoding – is aerial triangulation obsolete? Photogrammetric Week 1999, Vichmann Verlag.
- C. Heipke, K. Jacobsen, H. Wegmann: Analysis of the results of the OEEPE test «Integrated Sensor Orientation», Workshop Proceedings, Nr. 43, 2002, Frankfurt am Main.
- V. Casella, R. Galetto: An Italian national research project on inertial positioning in photogrammetry. Workshop ISPRS, WG 1/5, 2003.
- J. Skaloud: Reliability of Direct Georeferencing – Beyond the Achilles' Heel of Modern Airborne Mapping. Photogrammetric Week 2007, Vichmann Verlag.

Prof. Ing. Giorgio Bezoari
 Prof. Ing. Attilio Selvini
 Politecnico di Milano
 Sezione Rilevamento DIIAR
 Piazza L. Da Vinci 32
 I-20133 Milano
 giorgio.bezoari@polimi.it
 attilio.selvini@polimi.it

Zu verkaufen / A vendre

2 alte Kern-Theodolite
2 Kippregel / Alidades

Mit Zubehör / Avec accessoires

Instrumente sind ca. 140 Jahre alt, aus massivem Messing gebaut und total restauriert.

Instruments vieux d'environ 140 ans, construits en laiton et totalement restaurés.

Preis nach Absprache / Prix à discuter

Fotos vorhanden / Photos à disposition

e-mail: gdeessaux@swissonline.ch

**Abonnementsbestellungen
unter folgender Adresse:**

SIGI media AG
Pfaffacherweg 189
Postfach 19
CH-5246 Scherz
Telefon 056 619 52 52
Telefax 056 619 52 50

*Jahresabonnement 1 Jahr:
Inland sfr. 96.–, Ausland sfr. 120.–*