

# La méridienne de Perinaldo (It.) en l'Église de la Visitation

**Riccardo Anselmi**

La réalisation d'une méridienne intérieure horizontale (*en italien :camera oscura*) de grande dimension est de nos jours un événement tout à fait exceptionnel, en particulier dans une église, comme aux siècles passés. Ainsi, plusieurs grands astronomes mathématiciens des XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles exploitèrent les surfaces intérieures de grandes églises dont l'ampleur et la statique garantissaient la fiabilité des données relevées. Citons :

- Paolo dal Pozzo Toscanelli (Florence, 1397 – 1482), qui fit percer un trou de lumière à 90 m de hauteur dans la coupole de Brunelleschi. Il s'agit absolument du plus élevé.
- Egnazio Danti (Perugia, 1536 – Alatri, 1586), membre de la commission chargée par le pape Grégoire XIII de la réforme du calendrier julien, réalisa le premier orifice gnomonique de la Basilique de San Petronio, ainsi que d'autres redécouverts récemment dans l'Église de Santa Maria Novella à Florence.
- Gian Domenico Cassini (Perinaldo (Im), 1625 – Paris, 1712), auteur de la méridienne de la Basilique San Petronio à Bologne.
- Francesco Bianchini (Vérone, 1662 – Rome, 1729) et Giacomo Filippo Maraldi (Perinaldo, 1665 – Paris, 1729) réalisateurs de la méridienne Clémentine de la Basilique des Anges et des Martyrs à Rome.

Ces grandes méridiennes furent réalisées sous le patronage de l'Église qui était très intéressée à établir avec précision le midi local et en particulier la date de l'équinoxe de printemps indispensable pour déterminer, avec la lunaison, la date de Pâques.

Ces magnifiques œuvres fournissaient aussi d'importantes données comme la définition de la position du pôle céleste, le déplacement de l'étoile polaire dû à la précession d'équinoxes, les solstices, l'inclinaison de l'écliptique, etc.

N'étant plus en état de concurrencer les nouvelles technologies, ces méridiennes perdirent beaucoup de leur importance au cours des siècles et furent reléguées à l'état de simples objets décoratifs, perdant même dans certains cas leur fonctionnalité première. Ce n'est que récemment que quelques-unes ont été revalorisées par des interventions opportunes. Certaines ont subi des dommages irréparables comme la méridienne du Dôme de Milan, datant de 1786, oeuvre de Giovanni Angelo de Cesaris, qui, malgré plusieurs restaurations (la dernière datant de 1976), conserve seulement le signe d'origine du capricorne car situé sur une paroi, alors que les onze autres signes du zodiaque ont disparu lors de la réfection du pavement, remplacés par des figures modernes.

La méridienne de Cassini a été revalorisée grâce à l'engagement passionné de Giovanni Paltrinieri, auteur de nombreuses publications qui traitent de cette question. La réfection de ladite méridienne Clémentine est par contre due à Mario Catamo et Cesare Lucarini, spécialistes en la matière, et auteurs d'interventions spécifiques à la Basilique Sainte-Marie des Anges et des Martyrs à Rome. On leur doit également la publication du livre "Il Cielo in Basilica" qui décrit avec abondance de détails les caractéristiques de cette horloge solaire et de son histoire.

A l'occasion du solstice d'hiver de 2007, on a inauguré à Perinaldo, village natal de Gian Domenico Cassini (province d'Imperia), une méridienne dans l'Église de la Visitation, oeuvre de Giancarlo Bonini, à laquelle ont contribué Emanuela Bielli, Endrio Derin, Tiziano Casanova et Andrea Pastorino, tous collaborateurs de l'observatoire astronomique "G. D. Cassini" de Perinaldo.

Un événement extraordinaire et probablement certainement unique ! En effet, pourquoi construire aujourd'hui une ligne méridienne dans une église si ce n'est pour honorer la

mémoire de Gian Domenico Cassini, avec une œuvre qui rappelle sa plus grande et célèbre méridienne de San Petronio?

L'observatoire astronomique "G.D. Cassini", le livre biographique "*Gio: Domenico Cassini – Uno scienziato del Seicento*" de Anna Cassini et cette surprenante méridienne marquent la fin d'une longue période de désintérêt à l'égard du plus illustre fils de Perinaldo, personnage connu également comme cartographe, mathématicien et astronome à la cour des rois de France. Il y a encore quelques années, seule une modeste statue exécutée par un artiste de Dolceacqua rappelait les origines de Cassini à Perinaldo.

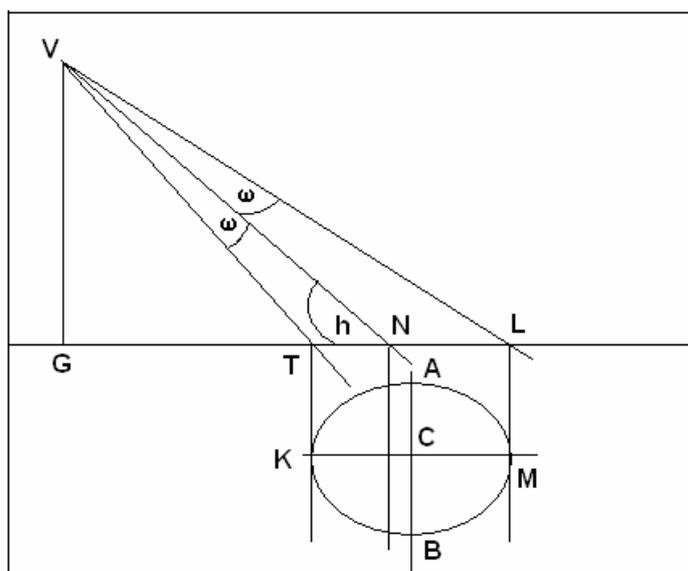
Par pure coïncidence, la majestueuse et ancienne Basilique de San Petronio à Bologne et l'église plus modeste de la Visitation de Perinaldo présentent pratiquement la même orientation. On observera en effet que la position des deux méridiennes est quasi identique dans le rapport des plans. Les deux églises ne suivent pas les anciens canons des *Constitutiones Apostolicae* (1,67) qui prévoyaient que les temples devaient être disposés sur la ligne est/ouest, avec la façade tournée vers l'occident: elles ont l'abside tournée vers le sud et la façade vers le nord. Cette orientation a permis à Cassini de tracer la totalité de la ligne méridienne sur le sol de la basilique sans recourir à des parois verticales, comme c'était le cas de la méridienne du Dôme de Milan où, à cause d'une orientation défavorable, le tracé se terminait sur une surface verticale.

La méridienne de l'église de la Visitation se développe entièrement de façon horizontale sur deux plans parallèles avec la seule exception d'une très brève partie constituée par le petit plan incliné qui les unit. Sur le plan le plus élevé se trouve le solstice d'été et le pied du gnomon qui est virtuellement à l'intérieur de la paroi. Sur celui plus bas, le double dispositif pour le calcul des équinoxes et l'aire du solstice d'hiver.

Une méridienne, outre l'orifice gnomonique, nécessite une ligne droite direction nord/sud qui se développe sur une surface plane généralement, mais pas nécessairement tout à fait horizontale. Des études de gnomonistes renommés suggèrent pour les nouvelles méridiennes de choisir le diamètre de l'orifice égal à la millième partie de sa distance au sol. Une telle solution n'a pas une valeur universelle et ne s'avère valable que dans certains cas.

Les dimensions elliptiques du disque solaire, à l'instant qui indique le midi, sont représentées par les axes de l'ellipse obtenue en sectionnant le cône de lumière qui émerge de l'orifice gnomonique avec la superficie plane sur laquelle se forme l'image.

Le sommet du cône est représenté par l'orifice (V), initialement supposé en forme de pointe;



l'angle  $2\omega$  est égal à celui du diamètre angulaire du disque solaire.

Étant donné que la Terre durant l'année se trouve à des distances différentes du soleil, ce dernier apparaît plus grand l'hiver, quand la Terre est au périhélie, et plus petit l'été lorsqu'elle se trouve à l'aphélie. Le cône de lumière s'adapte donc, lui aussi, aux saisons en atteignant l'angle maximum lors du passage de la Terre au périhélie.

Il s'agit donc de résoudre un simple problème géométrique en utilisant, dans le cas de la méridienne horizontale, le triangle rectangle qui a comme côté vertical la distance de

l'orifice gnomonique V au sol, comme hypoténuse la distance entre V et le point N de l'image

elliptique et comme second côté la distance de N à G, celui-ci étant le point vertical au sol en-dessous de l'orifice.

La formule pour calculer h, hauteur du soleil à midi est la suivante:

$h = 90^\circ - \phi^\circ + \delta^\circ$ , où  $\delta$  est la déclinaison du soleil prise avec son propre signe.

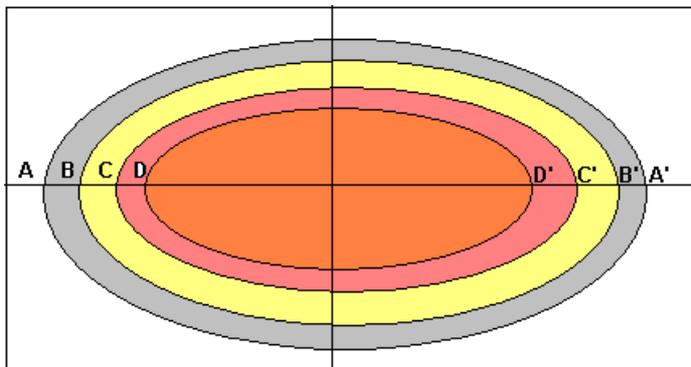
L'angle du cône  $2\omega$  équivaut à celui du diamètre du disque solaire dont les dimensions sont:  $2\omega = 32,52'$  au solstice d'hiver,  $2\omega = 32,11'$  aux équinoxes et  $2\omega = 31,48'$  au solstice d'été.

Dans le triangle rectangle VGN on a:  $NV = \frac{VG}{\sin(h)}$ ;  $NG = \frac{VG}{\tan(h)}$ ;  $NT = \frac{NV * \sin(\omega)}{\sin(h + \omega)}$ .

La formule qui calcule le demi grand axe est:  $a = \frac{NT}{2} \left( \frac{\sin(h + \omega)}{\sin(h - \omega)} + 1 \right)$ ; la formule de

l'excentricité qui en résulte est:  $\epsilon = \frac{\cos(h)}{\cos(\omega)}$ . S'en suivent encore:  $c = \epsilon * a$  et le demi petit axe:

$$b = \sqrt{a^2 - c^2}.$$



Les formules proposées ne tiennent compte ni de la réfraction provoquée par l'atmosphère, ni de la diffraction due à l'orifice, ni de la pénombre causée par les dimensions du disque solaire vu à travers l'orifice gnomonique, mais sont aptes à fournir des résultats acceptables, face aux résultats exacts. L'incidence de la pénombre sur les dimensions de

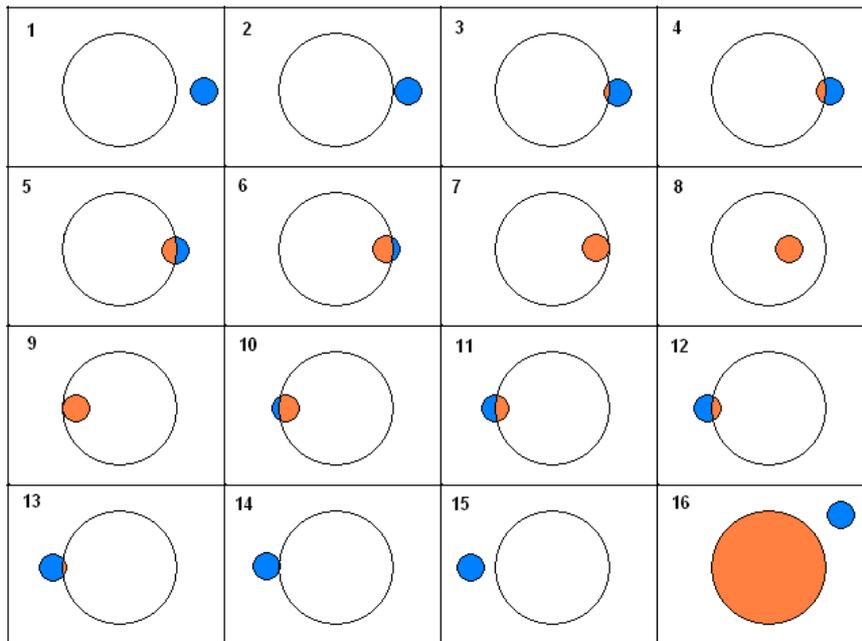
l'ellipse peut être initialement évaluée en considérant que les axes de l'ellipse s'allongent, approximativement, du diamètre de l'orifice. Dans la basilique de San Petronio à Bologne se trouve la célèbre méridienne de G. D. Cassini dont les données essentielles sont:  $\phi = 44,4936^\circ$ ,  $VG = 27,07\text{m}$  et  $d = VG/1000$ , le diamètre de l'orifice.

Au solstice d'hiver, nous avons les données suivantes:  $\omega = 16,26' = 0,271^\circ$ ,  $h = 90^\circ - 44,4936^\circ - 23,454^\circ = 22,0524^\circ$ . On obtient  $NV = 27,07 / \sin(22,0524^\circ) = 72,099\text{ m}$ ,  $NG = 66,82\text{ m}$ ,  $NT = 0,8978\text{ m}$ , grand axe = 1,816 m, petit axe = 0,682 m. Ces résultats ne coïncident pas rigoureusement avec les données exactes (grand axe = 1,841 m, petit axe = 0,708 m) aussi parce que ces dernières se réfèrent à l'époque de Cassini, lorsque l'obliquité de l'écliptique était supérieure, mais il suffit d'ajouter le diamètre de l'orifice pour en arriver à des données quasi identiques: grand axe = 1,843 m, petit axe = 0,709 m. Cette solution pratique fournit un résultat apparemment satisfaisant, mais certainement inexact étant donné que la couronne elliptique de la pénombre est sûrement plus large que le rayon émis par l'orifice. Toutefois la recherche d'une plus grande précision ne peut pas faire une grande différence sur le plan pratique, à cause de la définition médiocre du bord du disque lumineux sur le sol, difficilement mesurable. Si l'on veut cependant rechercher un résultat théorique plus précis, on peut appliquer les formules suivantes, valables si le plan de l'orifice est perpendiculaire à l'axe du cône. Au grand axe il faut ajouter les valeurs calculées selon les

formules suivantes:  $QT = \frac{r \cos(\omega)}{\sin(h + \omega)}$ ;  $LZ = \frac{r \cos(\omega)}{\sin(h - \omega)}$ , où  $r$  est le rayon de l'orifice, alors

que pour le calcul du petit axe, on utilise encore la formule  $c = \epsilon * a$ ,  $b = \sqrt{a^2 - c^2}$ , mais en substituant le nouveau demi axe à  $a$ . On découvre donc que les deux ellipses, bien que présentant la même excentricité, ne sont pas concentriques, parce que le cône en forme de pointe et celui de la pénombre sont coaxiaux et ont le même angle. A ce stade, on fait spontanément une observation, vu que le plan de l'orifice gnomonique est fixe et ne s'adapte pas à la hauteur du soleil, raison pour laquelle le cône de lumière présente une section

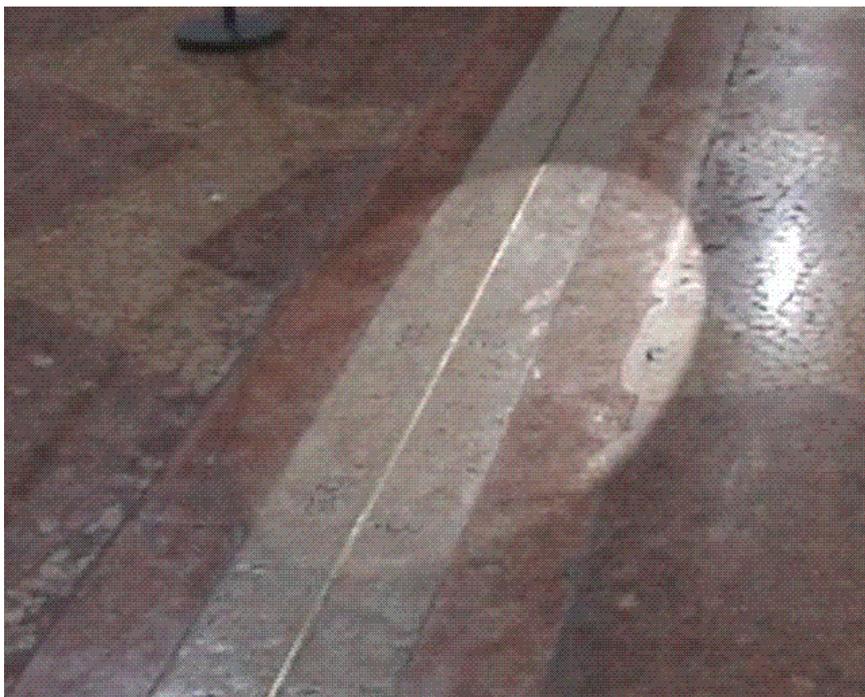
circulaire seulement dans la position choisie par le constructeur. L'ingénieur Ferrari conseille d'orienter le plan de l'orifice orthogonalement à l'axe du cône du solstice d'hiver, afin qu'il profite d'un maximum de lumière au moment de l'extension maximale du disque solaire sur le sol. La section de l'orifice apparaît circulaire uniquement le 21 décembre alors qu'aux autres dates elle est elliptique. La figure avec les ellipses concentriques, inspirée d'un graphique de l'ingénieur Gianni Ferrari, montre les différentes surfaces de pénombre et d'illumination totale selon les mêmes propositions que celles de son étude citée dans la bibliographie. Si un hypothétique observateur traversait cette surface de gauche à droite, en regardant l'orifice gnomonique, il verrait de gauche à droite et de haut en bas



- 1) à gauche de A: uniquement le fond du ciel
- 2) exactement en A: outre le ciel, le début du bord solaire mais de façon à ne pas créer un halo visible sur le sol
- 3) entre A et B: un très fin croissant de soleil, mais encore insuffisant pour créer un halo visible sur le sol, et le ciel
- 4) entre B et C: une partie du ciel et la surface du soleil maintenant assez grande pour

créer un faisceau lumineux

5) en C: le soleil rejoignant le centre de l'orifice, point duquel part le cône ponctuel comme prévu dans le cas théorique (orifice ponctuel); mais en fait ceci rentre dans les cas entre B et



- D
- 6) entre C et D: la silhouette du soleil prévaut sur celle du ciel; dans ce secteur, la pénombre est très claire et ne peut pratiquement pas être distinguée à l'œil nu de celle en pleine lumière
- 7, 8 et 9) entre D et D': l'orifice est entièrement occupé par le soleil, la partie centrale étant uniformément illuminée
- 10) entre D' et C': un croissant de soleil occupe presque tout l'orifice, et le ciel avec une très faible pénombre

est visible seulement aux instruments

11) en C': la silhouette du soleil passe au centre de l'orifice, comme dans le cas 5

12) entre C' et B': une partie du ciel et la surface du soleil encore suffisamment grande pour créer un faisceau lumineux avec une faible pénombre, comme dans le cas 4

13) entre B' et A': un croissant de soleil est insuffisant pour rendre visible la zone de pénombre, comme dans le cas 3

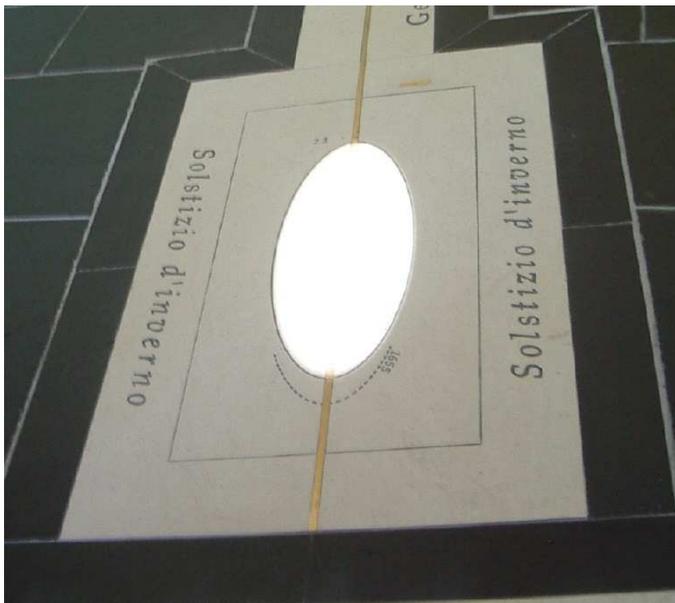
14) en A': la fin du bord solaire et le ciel; situation analogue à celle du cas 2, mais inversée.

Ce n'est certainement pas le but de cet article d'entrer dans le détail du calcul de situations particulières examinées qualitativement. Elles sont très intéressantes d'un point de vue théorique et mériteraient plus d'attention dans un autre article Je suggère, à ce propos, d'approfondir le sujet en lisant l'article de l'ingénieur Ferreri. La photo jointe, prise à l'intérieur de San Petronio le 30.11.2007, montre la perfection de l'ellipse du disque solaire avec le bord extrêmement net, dont les axes, calculés avec les formules susmentionnées, sont :  $2a = 1,59$  m et  $2b = 0,659$  m. Dans le cas de la Basilique Ste Marie des Anges à Rome, les dimensions du disque solaire au sol, reportées dans le livre de Catamo et Lucarini, ont été calculées en considérant l'orifice gnomonique comme ponctuel. Les données nécessaires pour le calcul des ellipses sont:  $\varphi = 41,9075^\circ$ ,  $VG = 20,34$  m. En considérant comme ponctuel l'orifice, on obtient les axes de l'ellipse au solstice d'été: grand axe = 20,70 cm, petit axe = 19,62 cm, à l'équinoxe: grand axe = 34,03 cm, petit axe = 25,32 cm, et au solstice d'hiver: grand axe = 110,68 cm, petit axe = 46,15 cm. Ces valeurs coïncident pratiquement avec les valeurs exactes. La nouvelle méridienne de Perinaldo a été réalisée dans l'Eglise de la Visitation, temple lié à la tradition cassinienne qui remonte au XVIIe siècle. Sa fiche technique comprend les données suivantes: latitude  $43^\circ 51' 43,25''$ , longitude  $7^\circ 40' 00''$  à l'est de Greenwich, diamètre de l'ouverture gnomonique 15 mm; ligne méridienne disposée sur deux niveaux: le plus bas, sur lequel se trouvent le solstice d'hiver et le point où l'équinoxiale coupe la méridienne, à 8,139 m de distance de l'orifice, celui sur lequel se trouve le solstice d'été à 7,659 m en dessous de ce même trou. Les longueurs des axes des ellipses sont: en été, grand axe = 86,2 mm et petit axe = 83,7 mm; aux équinoxes, grand axe = 157,7 mm, petit axe = 114,4 mm; en hiver, grand axe = 538,7 mm, petit axe = 208,2 mm. Ces données ont été obtenues en tenant compte d'une zone de pénombre égale à 80% de la zone théorique. Le long de la ligne méridienne sont indiqués les mois et la hauteur du soleil sur l'horizon. La surface réservée au contrôle des équinoxes est dotée de deux dispositifs placés l'un à droite et l'autre à gauche de la méridienne. Chacun est composé de deux règles (équinoxiales) semblables à celles de la méridienne de Ste Marie des Anges à Rome, contenues entre deux ellipses qui représentent le disque solaire dans la position qu'il prend au cas où l'équinoxe tombe sur le midi vrai. Ces dispositifs servent à évaluer le temps qui sépare l'instant du passage du soleil au méridien de celui de l'équinoxe étant donné que les deux phénomènes adviennent rarement

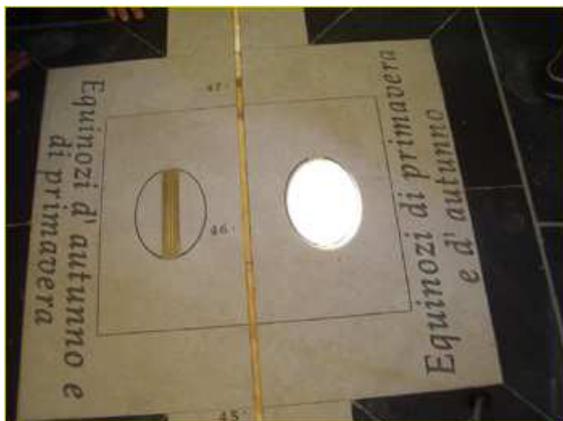


au même moment. Il s'agit d'un véritable bijou gnomonique, un double dispositif extrêmement intéressant qui, même s'il ne garantit pas un relevé de précision absolue, est irréprochable d'un point de vue théorique. La déclinaison du soleil aux équinoxes est de 0. Si le soleil traverse le point vernal avant le midi vrai local, sa déclinaison s'avère légèrement positive quand il traverse le méridien. Elle est par contre légèrement négative si l'équinoxe est postérieure au transit. A l'équinoxe d'automne, les deux phénomènes se présentent inversés au

passage du soleil au méridien. Les deux règles ont une échelle opportunément graduée sur laquelle on peut lire respectivement le temps qui sépare le midi de l'équinoxe. Sur l'une des deux on lit le temps écoulé, sur l'autre celui qui reste. Pour permettre une seconde fois la vérification de l'intervalle de temps, deux dispositifs identiques ont été placés, un à droite et l'autre à gauche de la méridienne. Une première photo montre le passage du soleil au méridien le jour de l'équinoxe d'automne et les deux dispositifs avec lesquels on établit le moment de l'équinoxe. Sur la photo suivante, on voit le passage du soleil sur un des dispositifs précédemment décrits. Selon ce qui a été rapporté par les créateurs de la méridienne, la lecture de la position relevée le 23 septembre 2007 indique l'arrivée de l'équinoxe environ 1h et demie avant le midi vrai, en parfait accord avec la valeur exacte qui fixe à 10h 38 le moment de l'équinoxe. Vu que le jour précédant et celui suivant l'équinoxe, le disque solaire tombe toujours partiellement sur les traits, il est possible de connaître l'instant de l'équinoxe même le jour avant ou après l'événement, ce qui permet une vérification ultérieure. La numérotation centrale, visible sur le côté oriental le long de la ligne méridienne, indique la hauteur du soleil durant l'année. Sur les deux côtés sont indiqués les mois dont le début est fixé par une petite lame en laiton. En suivant la fin de la ligne, on atteint l'ellipse sur laquelle se pose le disque solaire exactement le jour du solstice d'hiver. C'est à ce moment que l'ellipse est la plus grande, parce que la plus éloignée du sommet, et aussi du fait que l'angle du cône est le plus grand. A proximité de cette forme a été tracée en partie l'ellipse telle qu'elle se serait présentée au solstice d'hiver de 1655, année de la réalisation de la grande méridienne de San Petronio par G.D. Cassini.



Alors que la précession des équinoxes et l'obliquité de l'écliptique étaient déjà connues depuis l'Antiquité, la variation de l'inclinaison de l'axe terrestre est un phénomène acquis plus récemment. L'obliquité de l'écliptique n'est pas constante à travers les siècles, mais varie, très peu, avec également des conséquences climatiques. Aujourd'hui elle est de  $23,445^\circ$ , mais au milieu du XVII<sup>e</sup> siècle, elle était de  $23,4825^\circ$ . La plus grande inclinaison de l'axe terrestre, bien que laissant inchangée la position de l'équinoxe sur le sol, augmentait, par voie de conséquence, la distance entre les deux ellipses solsticiales par rapport à aujourd'hui.



Ainsi, la méridienne de la Visitation rend hommage à Gian Domenico Cassini et son époque, 350 ans après l'inauguration de la méridienne de San Petronio. Actuellement, un projet de coopération transfrontalière est en préparation dans le cadre d'Interreg IIIA Alcotra qui, entre autres initiatives, prévoit de baptiser "Meridiano Cassini" le méridien de longitude  $7^\circ 40'$ , celui de la nouvelle méridienne de l'Église de la Visitation de Perinaldo.

**Bibliographie et sources:**

**Gianni Ferrari:** *Sulla determinazione dell'istante dell'equinozio con una meridiana a camera oscura* gf-3/2007

**Giovanni Paltrinieri:** *La meridiana della Basilica di San Petronio*, Basilica di San Petronio, Bologna, 2007

**Mario Catamo, Cesare Lucarini:** *Il cielo in basilica*, A.R.P.A. Edizioni Agami, Edizioni Agami, Madonna dell'Olmo (CN) 2002

**Anna Cassini:** *GIO: DOMENICO CASSINE, uno scienziato del Seicento*, Comune di Perinaldo, 1994

**Riccardo Anselmi,** "Come costruire un antico orologio conico" in *Gnomonica Italiana*, Anno IV, no12, Paderno Dugnano, 2007, p.37-41

Site web: [www.astroperinaldo.it](http://www.astroperinaldo.it).

Photos: Riccardo Anselmi, Giancarlo Bonini

*NDLR: Ont participés à la traduction française: Jean Pansier, Max Plattner, Joseph et Monique Theubet.*