

# Risk Analysis in Coastal and Cultural Heritage Areas Using SAR and AI-Based Change Detection Methodologies: The Case Study of Venice Lagoon

*Pietro Mastro<sup>1</sup>, Antonio Pepe<sup>1</sup>*

(1) Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment (IREA), Italian National Research Council, 328, Diocleziano, 80124 Napoli, Italy;

使用多时空遥感图像探测和监测地表变化是遥感技术的最重要应用。各种应用已经广泛地使用光学RS传感器进行变化检测（CD）。CD过程包括分析在不同时间在同一地理区域拍摄的两张或更多的图像，以确定重大的土地覆盖变化。虽然光学传感器已被广泛用于CD，但由合成孔径雷达（SAR）获取的微波RS图像却没有得到充分利用。然而，合成孔径雷达图像在CD中的应用是有吸引力的，因为合成孔径雷达传感器是主动式仪器，可以在任何大气和阳光条件下工作。由几个SAR传感器星座收集的遥感数据，如欧洲（欧盟）哥白尼的双胞胎哨兵-1A/B传感器，能够快速绘制地球表面的变化图，并允许对容易发生地质水文灾害的地区进行时间监测。

沿海洪水风险是一个全球性的挑战，因为大约4000万生活在沿海港口城市的人可能会在每个世纪遭受一次重大的沿海洪水事件。合成孔径雷达遥感是检测和监测洪水现象的宝贵工具，可以区分淹没区和非淹没区。由于城市增长、地面沉降和气候变化，洪水风险增加。识别更容易发生极端洪水的地区有助于优化城市规划者的民事保护行动和评估损失。最近RS技术的进步使得快速损害预测图和相关模型的产生在洪水事件发生时很有帮助。

这项工作的重点是洪水和极端天气事件对沿海地区文化遗产保护的影响，特别是纪念性城市威尼斯和整个威尼斯泻湖地区的情况。威尼斯泻湖代表了意大利最广泛的泻湖系统，是地中海中最大的泻湖之一，也是意大利最重要的工业区之一。泻湖系统包括威尼斯，一个非凡的考古学、城市、建筑、艺术和文化遗产的杰作。威尼斯泻湖生态系统受到各种变化因素的影响，如陆上饲养活动、重金属开采、地下水开采等，对泻湖造成多种环境影响。地形的沉降现象是最关键的变化驱动因素之一。一项CD研究利用多时空干涉小基线子集（SBAS）技术，分析了近年来发生在威尼斯泻湖的地面变形（沉降）。该研究考察了该地区的底层沉降与最近2019年11月发生的极端洪水事件之间的相互联系的影响。对后向散射的S-1信号的时间序列进行了分析，以确定受淹地区的范围和洪水对该市的影响。该研究还利用了一种新开发的基于随机森林的人工智能方法的潜力。这种方法使用相干/非相干SAR变化检测指数（CDI）及其在单一语料库中的相互作用来快速绘制地表变化。该方法在快速绘制受2021年夏天撒丁岛和西西里岛巨大野火影响的地区以及2017年哈维飓风造成的休斯顿和加尔维斯顿湾的洪水地区的地表变化方面显示出巨大的成功。

我们利用2017年1月至2021年12月获取的180张哨兵1号图像进行了详细分析，调查威尼斯泻湖的地面变形。我们生成了1736张短基线（SB）干涉图的堆叠，并计算了泻湖的变形时间序列和平均变形速度图。我们还利用2019年11月12日的一系列洪水事件前后的采集，利用基于人工智能的方法中的时间多视点西格玛诺特图和相干变化指数（CCI）对威尼斯进行了变化检测分析。

为了进行变化检测分析，我们选择了一个时间序列的采集，其时间基线在洪水事件之前（11月11日、11月5日和10月30日）、期间（11月17日）和之后（11月23日和29日以及12月5日）分别为 $\pm 6$ 、 $\pm 12$ 、 $\pm 18$ 天。时间序列中的每张合成孔径雷达图像都经过了去斑噪声过滤算法的后处理，并使用增强光谱多样性（ESD）对11月17日的采集进行了联合登记。我们计算了西格玛无差异（ $\Delta\sigma_0$ ），我们使用时间基线为 $\pm 6$ 、 $\pm 12$ 、 $\pm 18$ 、 $\pm 30$ 、 $\pm 36$ 和 $\pm 42$ 天的三联SAR图像相对于11月12日的灾前和灾后InSAR ( $ND_{post-pre}$ ,  $\rho_{post-pre}$ ) CCI来确定一致性变化指标。

相干性分析的结果显示，威尼斯泻湖北部和南部的新兴土地中只有极小的区域受到沉降的影响。洪水事件对这些地区的完整性构成了严重威胁。威尼斯市的变形分析显示没有明显的沉降现象。尽管如此，低洼泻湖地形上的一些点状区域还是受到与海平面上升（SLR）有关的显著信号的影响，这可能严重影响该地区的水文地质。