

Ramses: un progetto per la salvaguardia e la tutela di Venezia

Rudj Maria Todaro

Insula spa, Santa Croce 505, 30123 Venezia
Tel. 0412724218, Fax 0412724102, rudj.todaro@insula.it

Abstract



Figura 1 – Nuvole di punti di Piazza S.Marco.

RAMSES (Rilievo altimetrico, modellazione spaziale e scansione3D), promosso dal Comune di Venezia e attuato da Insula spa, è il progetto che realizza per la prima volta al mondo una rappresentazione tridimensionale al centimetro della pavimentazione di una città: il centro storico di Venezia è stato rilevato restituendo la planimetria e l'altimetria di calli, campielli e fondamenta con una precisione mai realizzata prima.

Ramses, è il primo progetto nel suo genere per l'integrazione delle metodologie impiegate – quelle tradizionali della topografia e il sistema satellitare Gps – e per l'estensione e la capillarità del rilievo su scala urbana, con oltre 20 mila scansioni laser su uno sviluppo lineare di un milione di metriquadri. Partendo dalle esigenze che hanno portato la città a dotarsi di questo strumento, vengono presentati i passaggi fondamentali che hanno portato a compimento l'opera.

RAMSES (Rilievo Altimetrico, Modellazione Spaziale E Scansione3D – Altimetric Survey, Spatial Modeling and 3D scan), sponsored by the City of Venice and implemented by Insula SpA, is the project that for the first time ever creates a three-dimensional representation of the city paving to the centimeter: the historic city centre of Venice was surveyed, representing the plan and elevations of streets, squares and embankments with unprecedented accuracy. Ramses, is the first project of its kind in terms of the integration of methodologies - traditional topography and the GPS satellite system with laser scanner - and the extent and thoroughness of the survey on the urban scale, with over 20,000 laser scans on a linear span of one million square meters.

Starting with the needs that prompted the city to adopt this tool, it presents the fundamental phases in the process to complete this very important work.

1. Le esigenze

Conoscere l'andamento plano-altimetrico della pavimentazione diventa indispensabile in occasione delle alte maree, sia per garantire la transitabilità pedonale, sia per prevedere i danni derivanti dagli allagamenti.

Il modello delle pavimentazioni utilizzato a Venezia fino al 2010 si basava su una banca dati continuamente aggiornata grazie ai rilievi eseguiti per elaborare progetti integrati di manutenzione della città. Si trattava però di un insieme di informazioni composite ed eterogenee per densità, precisione e affidabilità, che consentivano di predisporre un modello altimetrico della città discretizzato mediamente solo a 10 cm.



Figura 2 – Acqua alta a Venezia.

Trascorso ormai quasi un ventennio dall'ultima campagna di rilievo completa della città di Venezia, il modello presentava spesso imprecisioni ascrivibili alla scarsa densità dei dati di origine e risultava poco significativo per l'ampio intervallo di discretizzazione. Sulla base di tale banca dati non avrebbe, tuttavia, avuto significato discretizzare il modello ad intervalli di quota minori di 10 cm. L'utilizzo di tale riferimento per prevedere le conseguenze dell'acqua alta a Venezia comportava spesso errori nella valutazione della transitabilità pedonale in funzione del livello di marea, della lunghezza dei percorsi dove è necessario predisporre le passerelle (es1, es2) e della quota di esondazione delle soglie private. Allo stesso tempo, non avrebbe avuto significato alcuno discretizzare il modello a intervalli di quota minori di 10 cm sulla base di tale banca dati.

Dalla constatazione della necessità di usufruire del supporto di uno strumento maggiormente dettagliato è nato Ramses, un rilievo topografico caratterizzato da omogeneità nella precisione (altimetrica di 1 cm e planimetrica di 2 cm) e nelle modalità di esecuzione, nonché da una maglia molto più fitta (2500 punti al metro al mq), da cui è possibile generare un modello tridimensionale a curve di livello più preciso, discretizzato a 1 cm.

In questo modo si possono ridurre considerevolmente gli errori di valutazione della transitabilità delle pavimentazioni, della stima dei percorsi delle passerelle e della quota di esondazione delle soglie degli edifici, in funzione del livello di marea.

1.1. confronto fra modelli a precisione diversa

Prima di Ramses esistevano solo alcuni rilievi localizzati delle pavimentazioni che presentavano le caratteristiche di precisione e di distribuzione spaziale richieste per poter generare un modello tridimensionale discretizzato a 2 cm in quota.

L'esempio relativo all'isola di San Lorenzo (superficie di 7.300 mq) esemplifica chiaramente la differenza di risultato tra i vecchi e i nuovi dati: si sono generati due modelli, entrambi discretizzati a 2 cm, a partire dalle due banche dati disponibili e se ne sono confrontati i risultati.

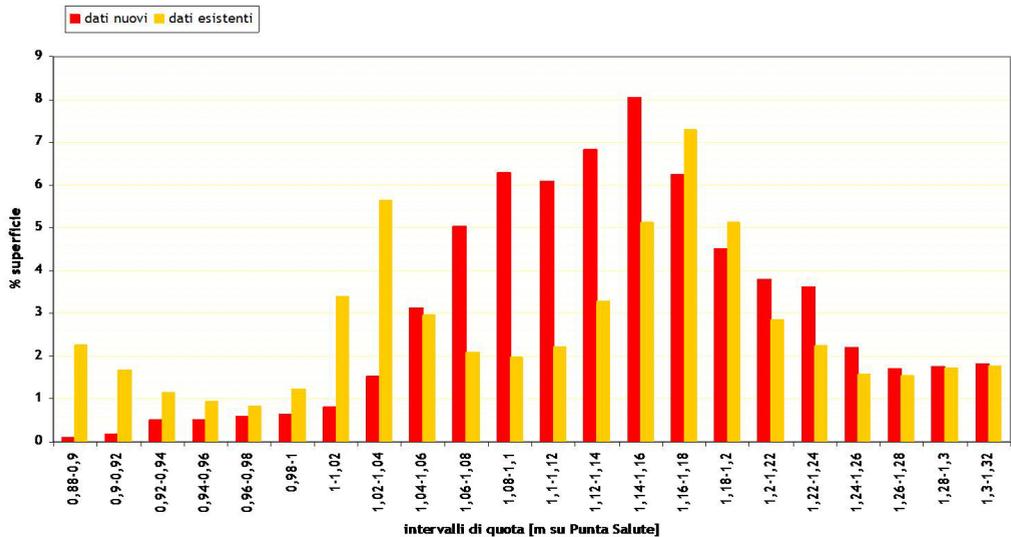


Figura 3 – Analisi altimetri dell’isola S.Lorenzo – stima della superficie per intervalli di quota.

Nel grafico di figura 3 si evidenziano differenze nella valutazione delle superfici esondate in funzione dell’intervallo di quota. La superficie con quota compresa tra 1,02 m e 1,04 m, ad esempio, è valutata intorno al 5,6% sul modello generato a partire dai dati esistenti e intorno all’1,5% sul nuovo modello.

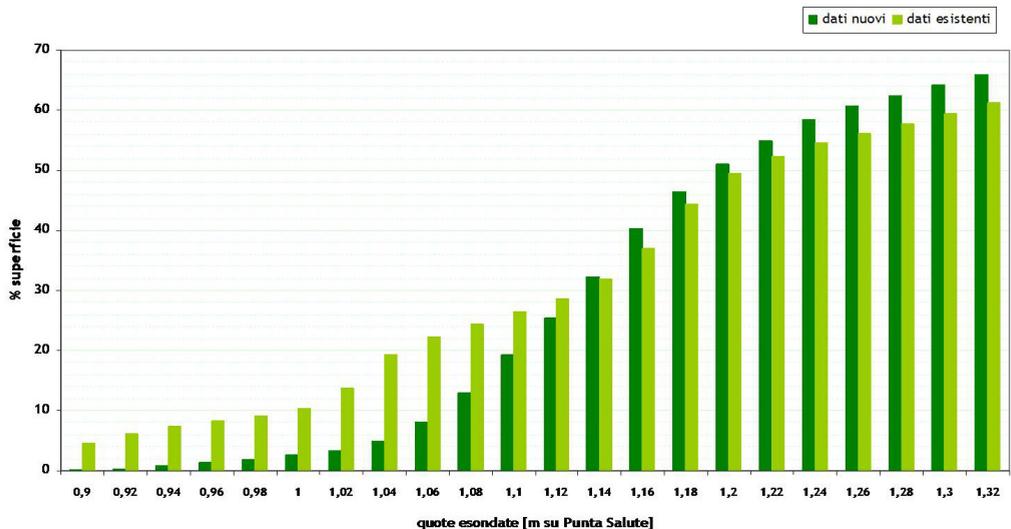


Figura 4 – Analisi altimetri dell’isola S.Lorenzo – superficie esondata per intervallo di marea.

Più significative le considerazioni da fare sul grafico di figura 4 che rappresenta, per la stessa zona, la percentuale di superficie esondata in funzione di livelli di marea, valutati sui due modelli discretizzati entrambi a 2 cm. Dall’osservazione del grafico si vede come il modello ottenuto dai dati esistenti sovrastimi di oltre il 10% la pavimentazione esondata per livelli di marea inferiori a 1,14 m e di come, invece, la sottostimi per livelli di marea più alti.

1.2. confronto fra modelli a discretizzazione diversa

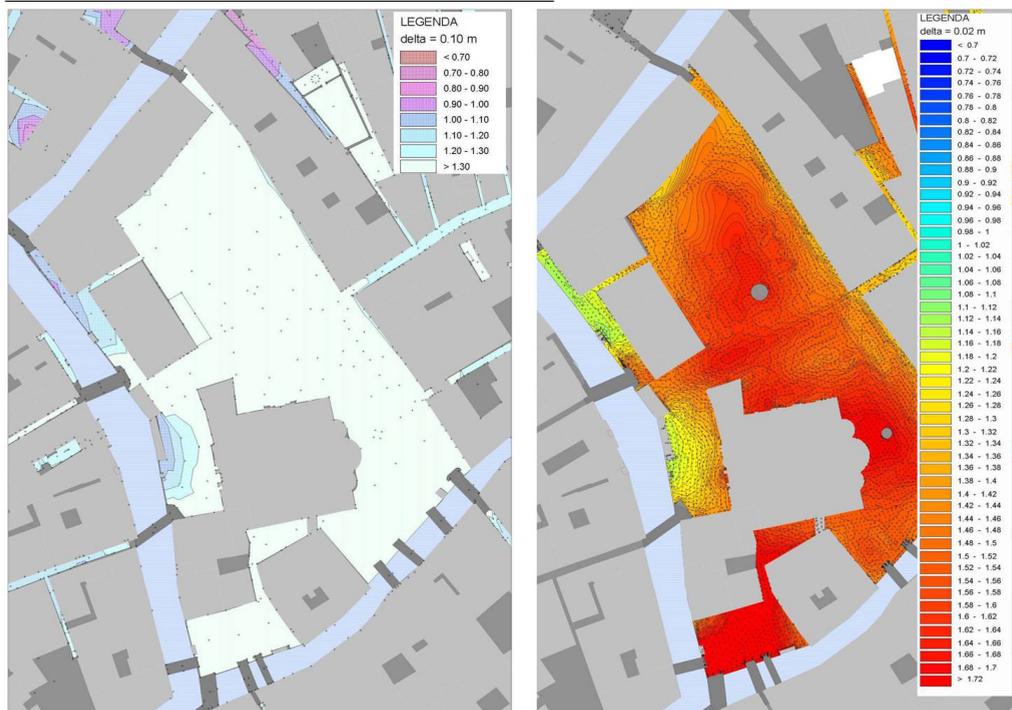


Figura 5 – Linee di esondazione delta 0.10m vs delta 0.02m.

Vengono qui messi a confronto due modelli a discretizzazione diversa. A sinistra (discretizzazione a 10 cm) si vede come la maglia del rilievo sia molto più larga rispetto al caso riportato sulla destra (discretizzazione a 2 cm) che consente una modellazione più particolareggiata dell'altimetria delle pavimentazioni.

Come si può notare dagli esempi riportati in figura 5, il modello tridimensionale discretizzato a 2 cm consente una valutazione molto più precisa dell'andamento altimetrico della pavimentazione rispetto al modello a 10 cm.

1.3. errori nell'interdizione del passaggio pedonale

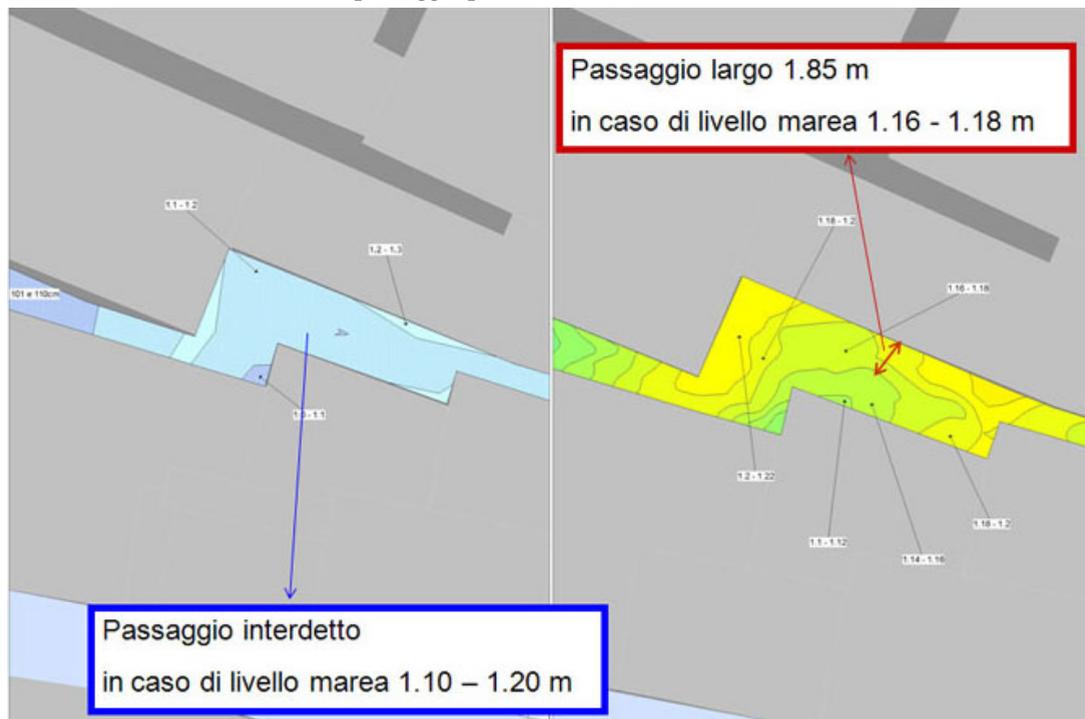


Figura 6 – Interdizione del passaggio pedonale.

In alcuni casi, l'analisi del modello discretizzato a 10 cm determina errori nell'individuazione delle pavimentazioni transitabili in funzione del livello di marea.

Nell'esempio di figura 6 supponiamo una marea di 1,16 m s.l.m.. Nel modello discretizzato a 10 cm (sulla sinistra) la pavimentazione non risulta transitabile, in quanto la quota della pavimentazione rientra nell'intervallo tra 1,11 m e 1,20 m, e l'area esondata corrispondente si estende a tutta la larghezza della calle; nel modello a 2 cm (sulla destra) si osserva che, per lo stesso livello di marea, in realtà non viene allagata tutta la larghezza della calle e che la pavimentazione con quota superiore a 1,16 m consente un passaggio minimo di 1,85 m.

2. le attività di progetto

Il progetto è il primo nel suo genere per l'integrazione delle metodologie impiegate e insieme per l'estensione e la capillarità del rilievo su scala urbana.

Per ottenere le precisioni richieste (1 cm in altimetria e 2 cm in planimetria) nel rilevare il modello altimetrico della pavimentazione della città, sono state utilizzate quattro diverse modalità di rilievo:

1. Gps
2. planimetrico
3. altimetrico
4. laser

La rete Gps (65 caposaldi nel centro storico) costituisce l'inquadramento generale. Il raffittimento della rete planimetrica collega ogni calle della città alla rete principale. La livellazione di alta precisione (che definisce i dislivelli della superficie fisica del terreno) raggiunge ognuno degli oltre 4.400 caposaldi. Il rilievo laser connette alla rete le nuvole di punti (più di 2.500 punti a metro quadro).

2.1. la rete Gps

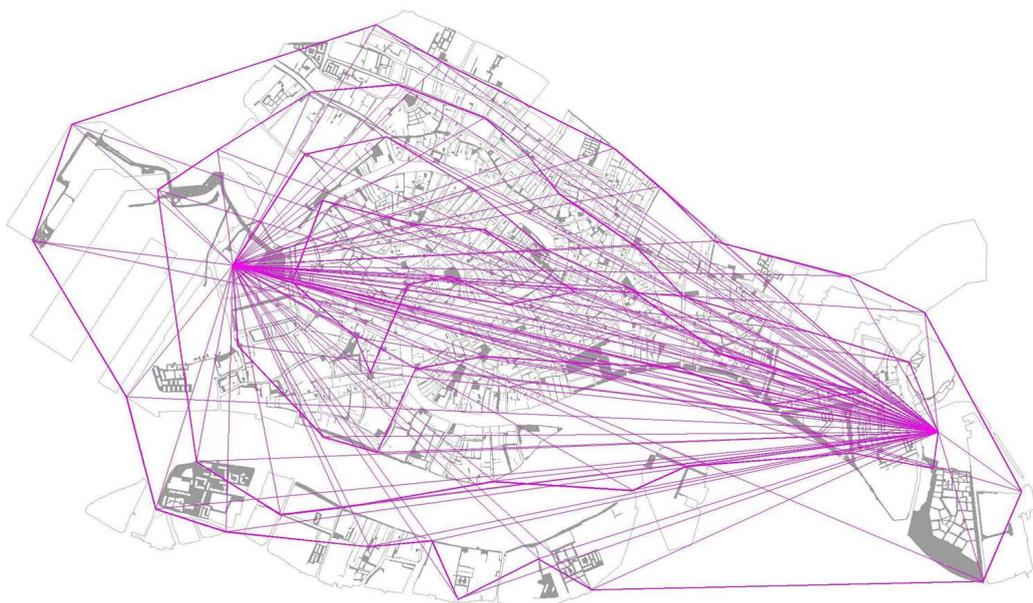


Figura 7 – Base lines della rete GPS.

La rete è costituita in totale da 65 vertici, 33 pre-esistenti (rete Gps2000) e 32 di nuova materializzazione, e da 190 linee di base.

Per tutta la durata del rilievo sono state utilizzate 2 stazioni sui vertici CS17 (area Actv cantiere navale) e SC07 (area Vesta) e sono stati utilizzati i dati acquisiti da tre stazioni permanenti localizzate a Cavallino, Chioggia e Marghera.

La struttura della rete presenta nella maggior parte dei casi, una configurazione delle *baseline* a ellissi concentriche. Ogni vertice è determinato da minimo quattro *baseline*, oltre alle osservazioni delle stazioni permanenti.

I vertici della rete Gps sono centrini metallici con una conformazione tale da permettere sia il centramento planimetrico di precisione sia la misura dei dislivelli. Il contrassegno, di materiale metallico indeteriorabile, è costituito da due pezzi.

Il rilievo della rete è stato realizzato con metodologia Gps in modalità statica con tempi di stazionamento di circa 2 ore realizzati in due sessioni indipendenti. Le misure sono state eseguite con 6 ricevitori contemporaneamente, in modo da garantire l'esecuzione di più basi contemporaneamente. Si è operato osservando in continuità almeno 5 satelliti per ogni sessione di misura, con strumenti programmati per un intervallo di acquisizione pari a 15 secondi.

2.2. inquadramento planimetrico

La rete planimetrica è stata realizzata con una rete primaria di inquadramento ed una secondaria o di raffittimento.

La rete planimetrica primaria di inquadramento (realizzata con strumentazione tradizionale) è una rete a lati lunghi; ha una struttura a rete formata da anelli chiusi, vincolati ai vertici della rete d'inquadramento Gps. E' stata divisa per blocchi distinti: 16 blocchi vincolati ciascuno da un minimo di quattro vertici Gps.



Figura 8 – Rete di raffittimento.

La rete secondaria di raffittimento è stata realizzata con un secondo livello con poligoni a lati corti tramite la misurazione di poligoni chiuse, vincolate agli estremi ai vertici delle reti d'inquadramento o semplicemente chiuse.

Solo in alcuni casi, in particolare nelle calli chiuse e dove non era realizzabile la chiusura di un anello, le poligoni realizzate presentano bracci aperti.

2.3. livellazione

È stata realizzata una rete altimetrica di inquadramento con livellazione di alta precisione per determinare la quota dei vertici delle reti di inquadramento e dei vertici delle poligoni di raffittimento. Come quota di partenza per il calcolo di compensazione della rete di livellazione è stata utilizzata quella del caposaldo Igm(Cso) denominato 170/12, ubicato nei pressi di piazzale Roma.

Come riferimenti verticali sono stati individuati alcuni capisaldi (Uima e di altri), più prossimi ai vertici della rete Gps. Le linee di livellazione sono principalmente ad anello e in alcuni casi, in particolare nelle stradine chiuse e dove non c'è possibilità di sbocco, risultano poligoni aperti. Le linee di livellazione di alta precisione sono costituite in totale da 4015 capisaldi (65 vertici inquadramento Gps, 65 riferimenti altimetrici, 757 vertici inquadramento tradizionale, 3128 vertici poligoni di raffittimento) per una lunghezza complessiva di circa 140 Km.

Le misure sono state effettuate in andata e ritorno, con livelli digitali con stadie a codice a barre, registrate automaticamente su memoria e poi opportunamente archiviate nella forma originale.

La misura di ciascuna battuta è stata realizzata stazionando con il livello fra le due stadi, con incertezza non superiore al 2% della loro distanza. La distanza fra strumento e stadia non ha superato i 40 m con la modalità di misura BF (B = indietro, F = avanti).

2.4. laser scanner

La campagna, che ha realizzato ben 22.000 scansioni laser, è stata condotta da 2 squadre di campo composte ognuna da 3 operatori.

Le scansioni sono state effettuate considerando un raggio utile non superiore a 12 m. In questo modo si è garantita la copertura del cono d'ombra di ogni scansione, pari a 2 m di raggio su un'altezza strumentale di 1,75 m (l'area di sovrapposizione di più scansioni contiene i coni d'ombra delle altre).

Ogni scansione ha intercettato almeno sei *targets* complessivi, tre con la scansione precedente e tre con quella successiva. I target sono di forma quadrata, di dimensione 5x5cm.



Figura 9 – Nuvole di punti di campo della Salute.

3. I risultati



Figura 10 – Caposaldi.

Più di 4.400 caposaldi sono stati materializzati nel centro storico di Venezia. Si tratta di caposaldi della rete Gps, di quella di raffittimento o di quella di inquadramento. È possibile scaricare gratuitamente dal sito www.ramses.it le monografie direttamente dalla mappa attivando i livelli della rete di interesse (Gps, inquadramento o raffittimento) e quindi cliccando sul punto desiderato.



Figura 11 – Piano quotato.

Il rilievo ha prodotto un piano quotato con una densità di 2.500 punti al metro quadro. Tutti questi punti sono stati riferiti alla rete di inquadramento e quindi sono georiferiti con una precisione di 2 cm sul piano e di 1 cm in altezza. Da questi punti sono state ricavate le curve di livello e le linee della pavimentazione e gli elementi di discontinuità (i gradini, le soglie, i tombini, le vere da pozzo, le basi dei colonnati).

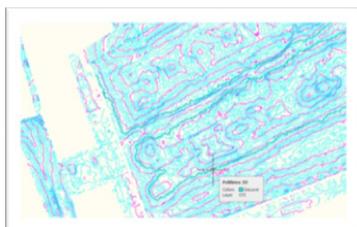


Figura 12 – Curve di livello.

Dal piano quotato sono state generate le curve di livello con una discretizzazione di 1cm. È possibile consultare l'insieme di tutte le curve di livello della città direttamente dalla mappa sul sito www.ramses.it, oppure è possibile scaricare un file per ogni isola in formato dwg dal pannello di controllo della mappa.



Figura 13 – Pavimentazione e linee di discontinuità.

Dal piano quotato sono state generate le linee di confine della pavimentazione, i limiti a terra degli edifici confinanti con la pavimentazione rilevata, le linee di discontinuità (gradini, ringhiere, arredo urbano, lampioni ecc.). È possibile scaricare dal sito www.ramses.it la pianta della pavimentazione di ogni isola di Venezia e del centro storico direttamente dal pannello di controllo della mappa.



Figura 14 – Tombini e caditoie.

È stato realizzato un censimento di tutti i tombini e le caditoie del centro storico (consultabili dalla mappa). Le tipologie sono state raccolte in un abaco riepilogativo a cui fanno riferimento tutti gli elementi della cartografia.



Figura 15 – Ponte delle guglie.

Sono stati rilevati con tecnica laser scanner i ponti di Rialto, della Costituzione, dei Tre archi, de la Sbiaca, delle Guglie, degli Scalzi, de la Cereria, Foscari e di Santa Margherita.