

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Integrazioni alla Relazione Illustrativa di II e III Livello

Regione Veneto
Comune di Cittadella



Regione	Soggetto realizzatore	Data
 REGIONE VENETO	Studio Mastella	Ottobre 2022



1. INTRODUZIONE.....	3
1.1. Riferimenti Normativi.....	3
1.2. Modalità di indagine	4
1.3. Finalità degli studi: pericolosità sismica e Microzonazione Sismica	4
1.4. Generalità sulla Microzonazione Sismica.....	6
1.1 Premessa.....	8
1.2 Aree potenzialmente instabili per liquefazione	8
1.2.1 Stima del potenziale di liquefazione	8
1.2.2 Verifiche condotte	9
1.2.3 Risultati	19

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è un documento tecnico-scientifico che integra gli elaborati cartografici già consegnati per lo studio di Microzonazione Sismica di II e III Livello del comune di Cittadella.

1.1. Riferimenti Normativi

Lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di II e III Livello del Comune di Cittadella (PD) è stato redatto in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (O.P.C.M.) n. 3907, in data 13 Novembre 2010, istituita ai sensi dell'articolo 11 del D.L. n. 39 in data 28 Aprile 2009 convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 77 del 24 Giugno 2009 (art. 11) ed in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007, in data 29 Febbraio 2012. L'O.P.C.M. n. 3907/2010, all'art. 5 comma 3, dispone che le Regioni individuino, con proprio provvedimento, i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica (MS), definendo come soglia generale di ammissibilità al finanziamento, il valore di accelerazione massima al suolo "ag" superiore o uguale a 0,125 g, come specificato nell'Allegato 2 e nell'Allegato 7.

A seguito dell'emanazione del DGR n. 899 del Giugno 2019 e relativo Allegato A (Studi di Microzonazione Sismica – Direttive per l'applicazione dei livelli di approfondimento), della Regione Veneto, sono stati forniti ulteriori chiarimenti e precisazioni in ordine all'applicazione dei livelli di approfondimento degli studi in relazione alla tipologia di strumento urbanistico sul quale si deve operare. In particolare, lo studio di MS di 2° Livello si applica in sede di redazione di studi per gli strumenti urbanistici che individuano e disciplinano gli interventi sul territorio in tutte quelle parti suscettibili di amplificazione sismica, individuate nel 1° Livello, per i quali si prevedono trasformazioni urbanistico-edilizie ed incremento dei carichi urbanistici/insediativi; inoltre si applica anche a tutti gli ambiti di urbanizzazione consolidata, di edificazione diffusa, nelle zone a servizi di interesse intercomunale ed in quelle oggetto di accordi di programma con previsioni insediative o infrastrutturali.

Successivamente, dalla necessità di adeguare ed uniformare le zone sismiche della Regione Veneto alla Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento nazionale (O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006), creata sulla base delle accelerazioni locali massime attese al suolo, e di disciplinare in maniera coordinata il controllo della pianificazione e dell'attività edificatoria, nel rispetto dei confini amministrativi comunali, con D.G.R. n. 244 del 09 marzo 2021 è stato approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. Il criterio di assegnazione dei Comuni alle nuove zone sismiche è fondato sul valore di accelerazione sismica massima attesa a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Sono così assegnati alla Zona 1 i Comuni con $a_{max} > 0,250$ g; alla Zona 2 quelli con a_{max} compresa tra

0,250 e 0,150 g, ed alla Zona 3 quelli con $a_{max} < 0,150$ g in coerenza con le disposizioni contenute nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519.

Nell'Allegato B del suddetto DGR si individuano i Comuni vincolati alla realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica (1°, 2° ed eventuale 3° Livello di approfondimento) estesi a tutte le parti di interesse urbanistico del territorio comunale (come definito dalla D.G.R. 899/2019), nella fase di redazione dei primi strumenti urbanistici generali (P.A.T. e P.I.) o prime loro varianti.

Il lavoro è stato eseguito secondo le modalità indicate negli *“Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica”* (ICMS Parte I e II) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome in data 13 Novembre 2008. Nel Dicembre 2020 sono stati emanati dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica gli *“Standard per l’informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica”* Versione 4.2 (O.P.C.M. n. 3907/2010 art. 5 comma 7).

1.2. Modalità di indagine

Il lavoro è stato svolto secondo le seguenti fasi di lavoro:

- Esame della documentazione in materia elaborata negli ultimi anni a livello regionale ed interregionale;
- Analisi delle aree segnalate del Comune;
- Analisi in chiave sismologica della cartografia geologica comunale relativa al P.A.T.;
- Approfondimenti relativi alle problematiche sismiche, alla sismicità di base ed alla valutazione della amplificazione sismica locale;
- Elaborazione dei dati in aree soggette a liquefazione;
- Stesura della presente relazione.

Nell'elaborare il presente studio si sono tenuti in considerazione gli aspetti geomorfologici, geolitologici, idrogeologici nonché sismici evidenziati nello studio di Microzonazione Sismica di II/III Livello del medesimo comune.

1.3. Finalità degli studi: pericolosità sismica e Microzonazione Sismica

È fondamentale avvalersi degli studi di Microzonazione Sismica (MS) durante la fase di progettazione degli strumenti urbanistici al fine di determinare la riduzione del rischio sismico (RS), che può essere così definito:

RS = Pericolosità sismica x Esposizione urbanistica x Vulnerabilità dei centri urbani e delle opere.

Una MS completa deve, quindi, considerare anche la vulnerabilità dei centri urbani e delle opere. Non essendo ancora disponibile una procedura speditiva riconosciuta valida per la valutazione della vulnerabilità (le procedure finora attuate sono di dettaglio e, quindi, onerose sia in termini di costi e soprattutto di tempi) la MS, in genere, è limitata a valutazioni della pericolosità sismica locale nelle zone di esposizione urbanistica: centri abitati ove si realizza una concentrazione di popolazione, zone destinate ad attività produttive e commerciali, altre previsioni urbanistiche e lungo le reti infrastrutturali.

Devono essere forniti dei criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti di amplificazione sismica locale ed instabilità in caso di terremoto in maniera da orientare le scelte, nella fase di progettazione urbanistica, verso aree a minore pericolosità sismica e supportare qualsiasi altro intervento finalizzato alla riduzione del rischio sismico (es.: interventi di riqualificazione urbanistica, messa in sicurezza, ...).

La **pericolosità sismica** dipende essenzialmente da due elementi:

- Dalle caratteristiche sismiche dell'area, ossia dalla presenza e/o distanza dalle sorgenti sismiche attive, dall'energia e dal tipo dei terremoti nonché dalla frequenza degli eventi. Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica di base";
- Dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio di riferimento; infatti queste caratteristiche possono influenzare notevolmente le caratteristiche dell'evento sismico in superficie e costituire appunto gli elementi predisponenti al verificarsi dei fenomeni di amplificazione o di instabilità del suolo (cedimenti, frane, liquefazione). Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica locale".

Lo studio della "pericolosità di base" e della "pericolosità locale" tendono sostanzialmente al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Individuare delle aree ove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- Stima quantitativa della risposta sismica locale indotta dai depositi superficiali e della morfologia del territorio: "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);
- Suddivisione del territorio comunale in sottozone omogenee a cui attribuire lo stesso valore di pericolosità sismica locale: "Microzonazione Sismica" (MS).

I risultati di questi studi afferiscono al quadro conoscitivo e vengono successivamente applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica; forniscono inoltre indicazioni per l'applicazione, in fase di progettazione, delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018).

1.4. Generalità sulla Microzonazione Sismica

La Microzonazione Sismica, ovvero “la suddivisione dettagliata del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale”, tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi), sia dell’amplificazione locale legata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche ed idrogeologiche dell’area di studio. Ha come finalità fondamentale quella di indirizzare la pianificazione urbanistica verso l’utilizzo edificatorio degli ambiti a minor rischio sismico.

Si articola in più livelli di approfondimento, sinteticamente sono così descrivibili:

- **Primo Livello:** è lo studio propedeutico ai livelli successivi. Consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rottura del terreno, ecc.. Consiste nelle seguenti azioni:
 - Raccolta dei dati esistenti e formulazione di una relazione che ricostruisce la sismicità storica dell’area, dei danni che i terremoti avvenuti hanno arrecato al territorio, delle possibili correlazioni con le principali strutture geologiche esistenti;
 - Elaborazione di una cartografia che, attraverso la rivisitazione dei contenuti geologici, geolitologici ed idrogeologici dello Studio Geologico per il P.R.G.C., individui gli elementi, in chiave sismologica, in grado di amplificare localmente la sismicità di base e/o di aumentare la pericolosità locale;
 - Elaborazione della cartografia di suddivisione del territorio in zone omogenee in prospettiva sismica;
- **Secondo Livello:** è lo studio di approfondimento locale; ha come obiettivo la redazione della Microzonazione Sismica e si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuate nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente. Consiste nelle seguenti azioni:
 - Caratterizzazione locale del terreno con la misura delle V_{seq} o V_{s30} , per le aree “stabili”;
 - Determinazione della profondità del bedrock in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo, alla definizione di profili di V_{seq} o V_{s30} e valutazione degli effetti morfologici, per le aree soggette ad amplificazione sismica; studio degli effetti di cui al punto precedente e degli ambiti di possibile instabilità.
- **Terzo Livello:** si applica in fase progettuale agli scenari suscettibili di instabilità, liquefazione, cedimenti. È un approccio puntuale ai singoli fenomeni. Si applica:
 - Per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche per previsioni ricadenti nelle aree classificate come:
 - P1b zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti,

- P1c zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana,
 - P2a zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...,
 - P2b zona con depositi granulari fini,
 - P2c zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici,
 - P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che presentino le seguenti caratteristiche $h/l > 0,65/\sqrt{Cv-l}$ dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, Cv il rapporto fra la velocità Vs nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento,
 - P4b Zona di fondovalle stretta ($C > 0,25$) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale,
 - P1a movimenti franosi attivi. Sebbene l'urbanizzazione in queste aree sia vincolata da altre norme è possibile che si renda necessario uno studio di MS, ad esempio per riparazione di un'opera esistente (strada, edifici, centro abitato, ...),
 - P5b zona ove sono presenti o potenzialmente presenti ca sotterranee o sinkhole.
- Nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico. Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici. I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 17/01/2018). Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere suddivise con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo.

La procedura proposta fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Il presente lavoro integra lo studio di Microzonazione Sismica di II e III livello di approfondimento sopra descritto.

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II e III LIVELLO

1.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di II Livello si pone come obiettivo quello di compensare le incertezze del I Livello con approfondimenti conoscitivi fornendo quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche) della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente sulle zone stabili suscettibili di amplificazione e/o sulle zone suscettibili di instabilità individuate nel territorio in studio e rese note nella Carta di Microzonazione Sismica di I Livello. Lo studio di Microzonazione Sismica di III Livello si applica in concomitanza con il II Livello nelle aree caratterizzate da potenziali effetti di instabilità (di versante, per liquefazione, per presenza di faglie attive e capaci) e quando le procedure semplificate per la stima dell'amplificazione sismica utilizzate nel II Livello si dimostrano inadeguate per l'applicazione delle norme tecniche di cui al D.M. 17/1/2018.

Si precisa che tramite l'analisi della stratigrafia e dell'assetto geologico ed idrogeologico si sono individuate n. 2 "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" classificate come Z_{ALQ} – Zone di Attenzione per Liquefazione (30502002 e 30502003).

1.2 Aree potenzialmente instabili per liquefazione

Per quanto attiene alle "Zone di attenzione per le instabilità", nella Carta delle Mops del I Livello sono state segnalate aree i cui terreni possono potenzialmente dar luogo ad effetti di liquefazione (Z_{ALQ}).

In particolare, le aree alle quali è stata assegnata la possibile instabilità per liquefazione ricadono su materiali sciolti di aree di esondazione e/o di depositi di conoide di deiezione costituiti da ghiaie, miscela di ghiaia, sabbia, limo e argilla.

1.2.1 Stima del potenziale di liquefazione

La stima del potenziale di liquefazione per le aree instabili soggette a tale fenomeno, individuate nel I Livello di Microzonazione Sismica, è stata eseguita, nel II/III Livello del comune di in studio, attraverso l'utilizzo di metodi semplificati (*sensu* AGI, 2005).

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitante nello strato (R) e lo sforzo di taglio indotto dal sisma (T); per cui si avrà:

$$F_s = R/T$$

Un deposito si considererà suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza F_s sarà < 1 .

La grandezza T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto).

R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da stendimenti di sismica a rifrazione (o HVSR).

Tra i metodi semplificati quello di Tokimatsu e Yoshimi (1983) tiene conto della magnitudo del terremoto e calcola il rapporto di sforzo ciclico con la seguente espressione:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma_{vo}} r_d r_n$$

dove viene introdotto un coefficiente correttivo r_n funzione della magnitudo M .

$$R_n = 0.1 (M - 1)$$

Invece, la resistenza alla liquefazione viene calcolata confrontando i risultati di prove cicliche con dati di prove SPT, tramite la seguente espressione:

$$CRR = a C_r \left[\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{100} + \left(\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{C_s} \right) \right]$$

dove C_s è una costante empirica che dipende dall'ampiezza della deformazione di taglio.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

mentre l'indice ed il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di Iwasaki et alii (1978; 1984) secondo quanto descritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018), Decreto 17 Gennaio 2018.

1.2.2 Verifiche condotte

Come dati di input si sono utilizzate le prove penetrometriche ricavate dallo studio MS di II/III livello.

Inoltre, si sono poste le seguenti condizioni:

- Magnitudo (MW) = 6.6;
- $a_{max}/g = 0.25$;
- Profondità della falda indicata nella prova penetrometrica di riferimento.

Le indagini di seguito riportate sono ubicate sulla zona 2002.

028032P10

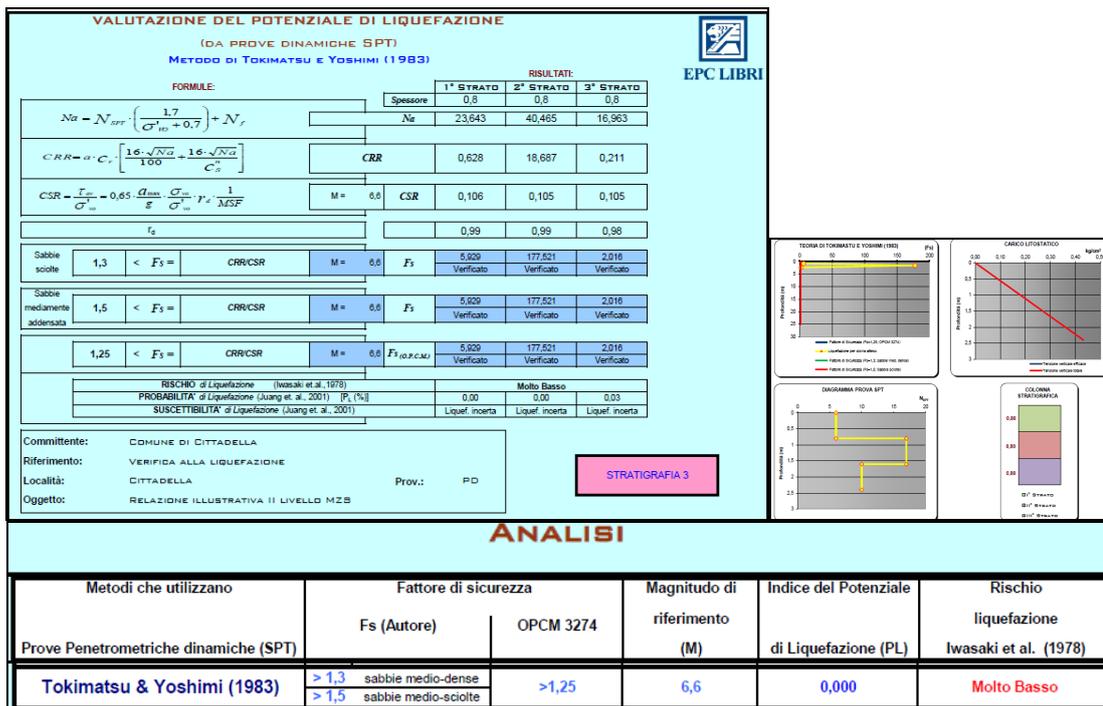


FIGURA 1 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P10

028032P13

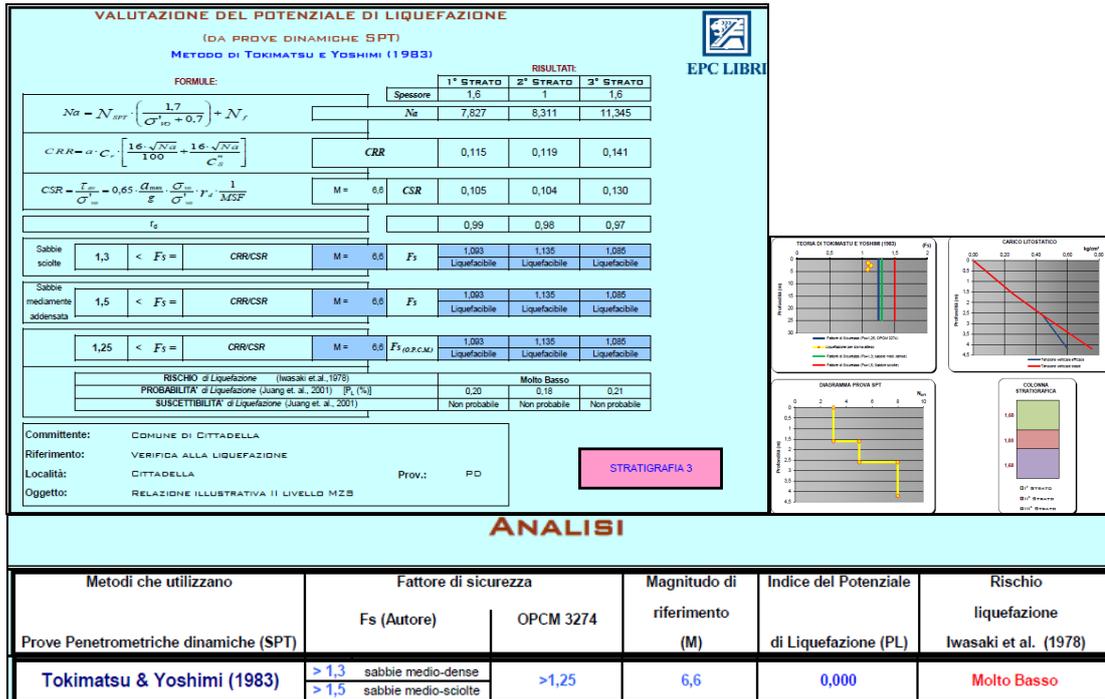


FIGURA 2 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P13

028032P4

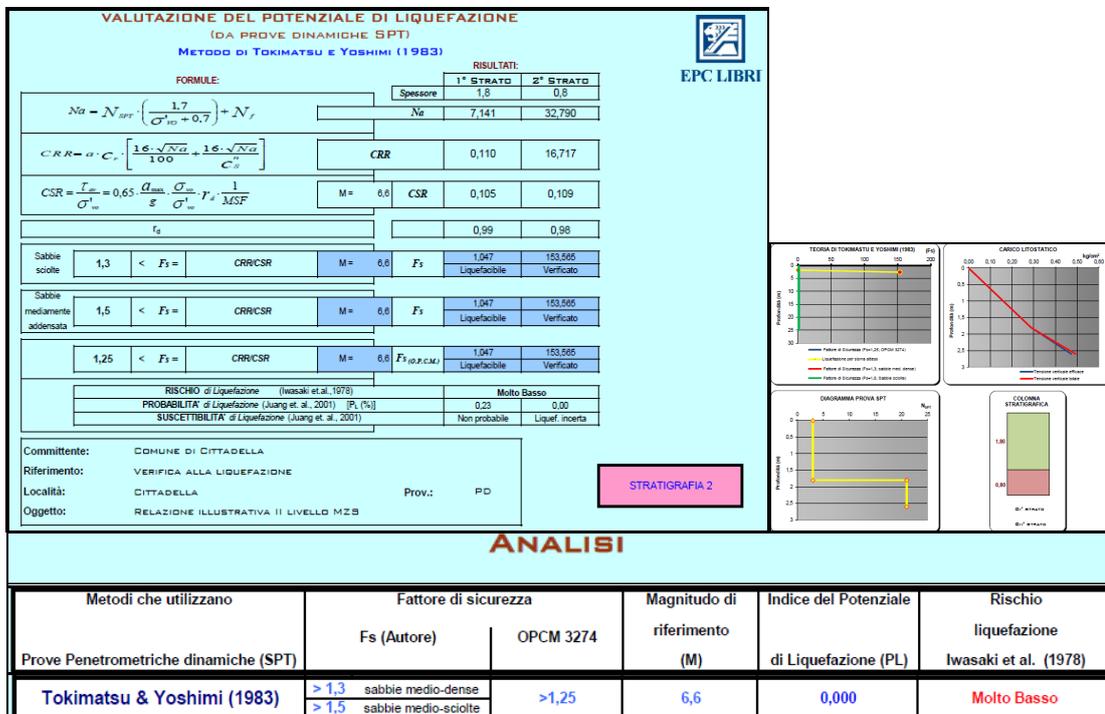


FIGURA 3 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P4

028032P33

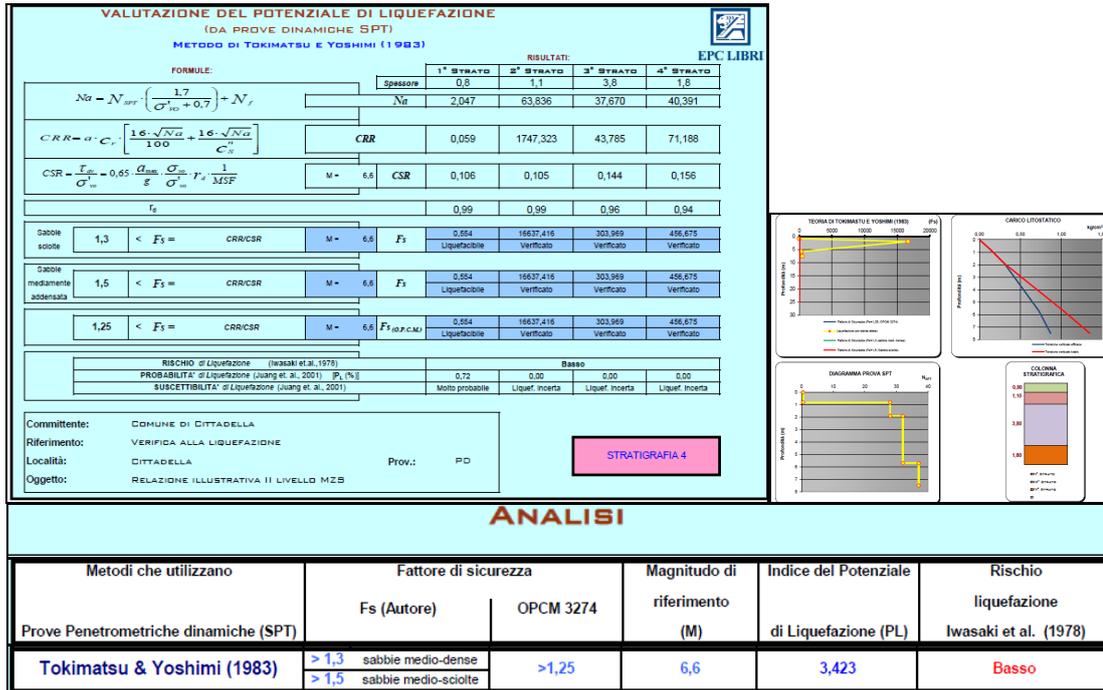


FIGURA 4 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P33

028032P14

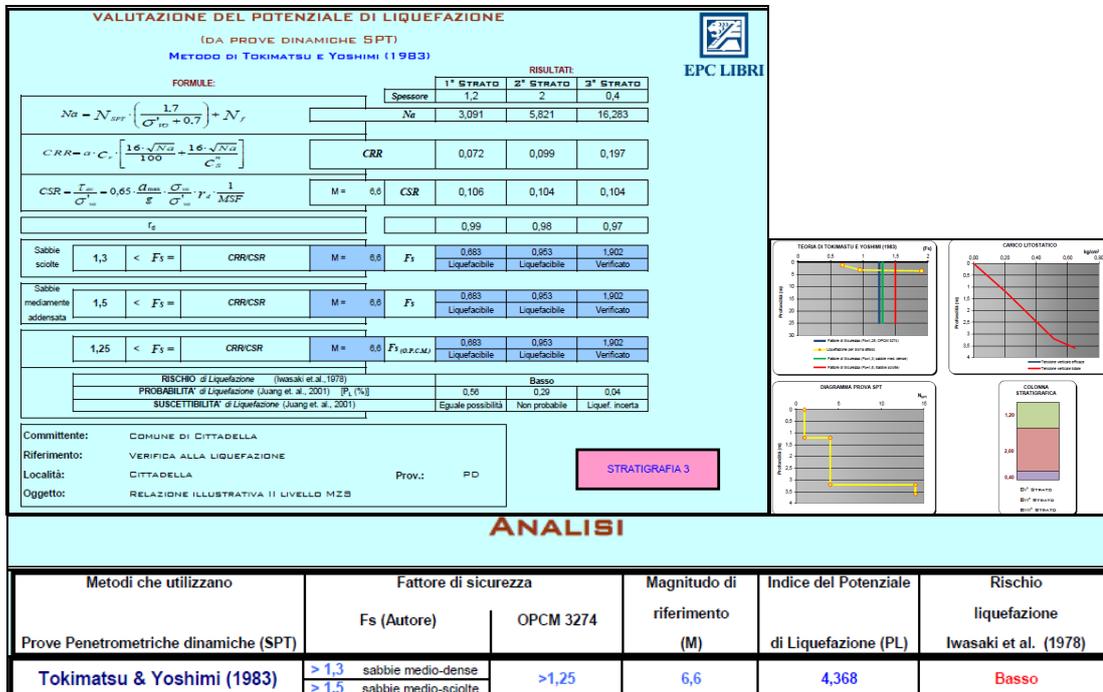


FIGURA 5 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P14

028032P19

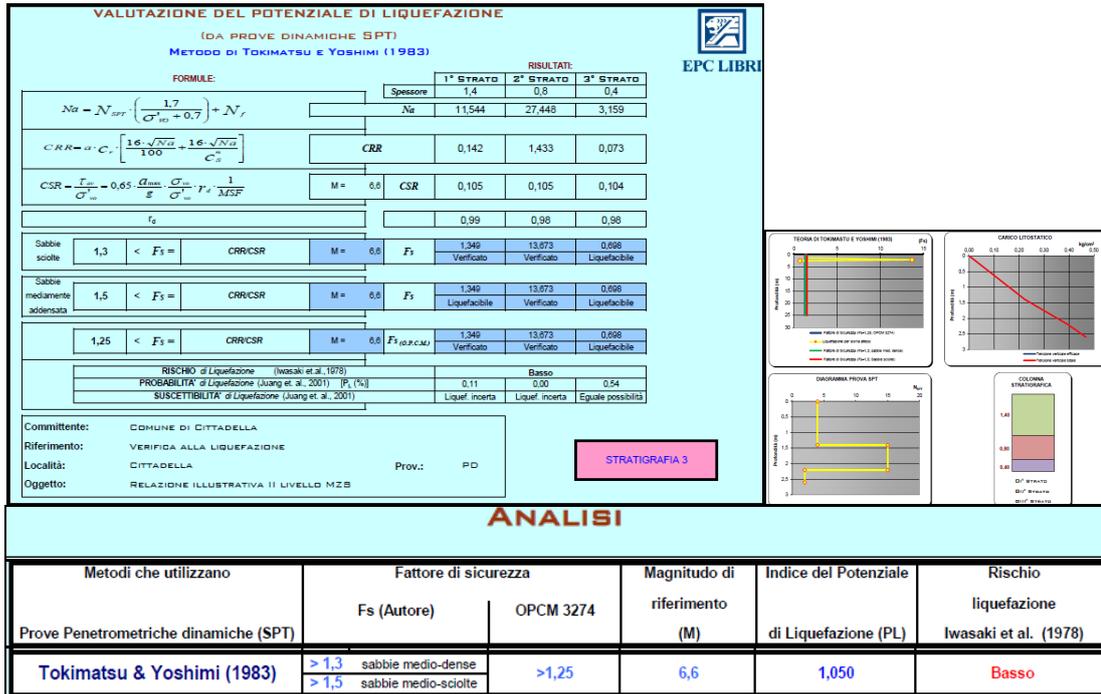


FIGURA 6 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P19

028032P3

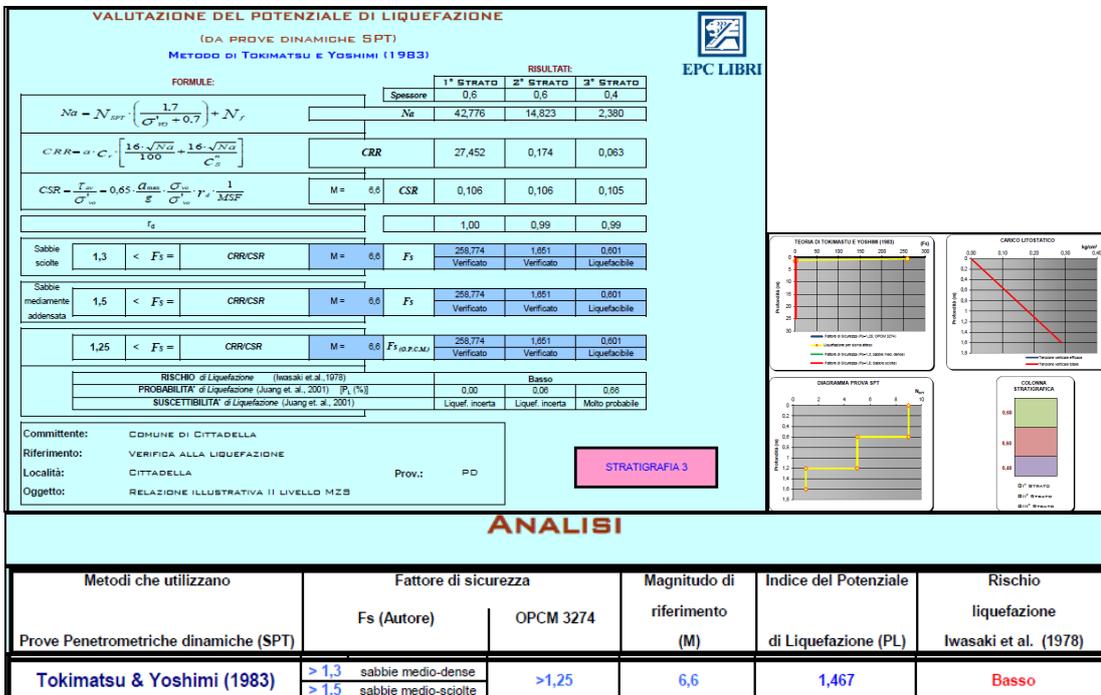


FIGURA 7 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P3

028032P18

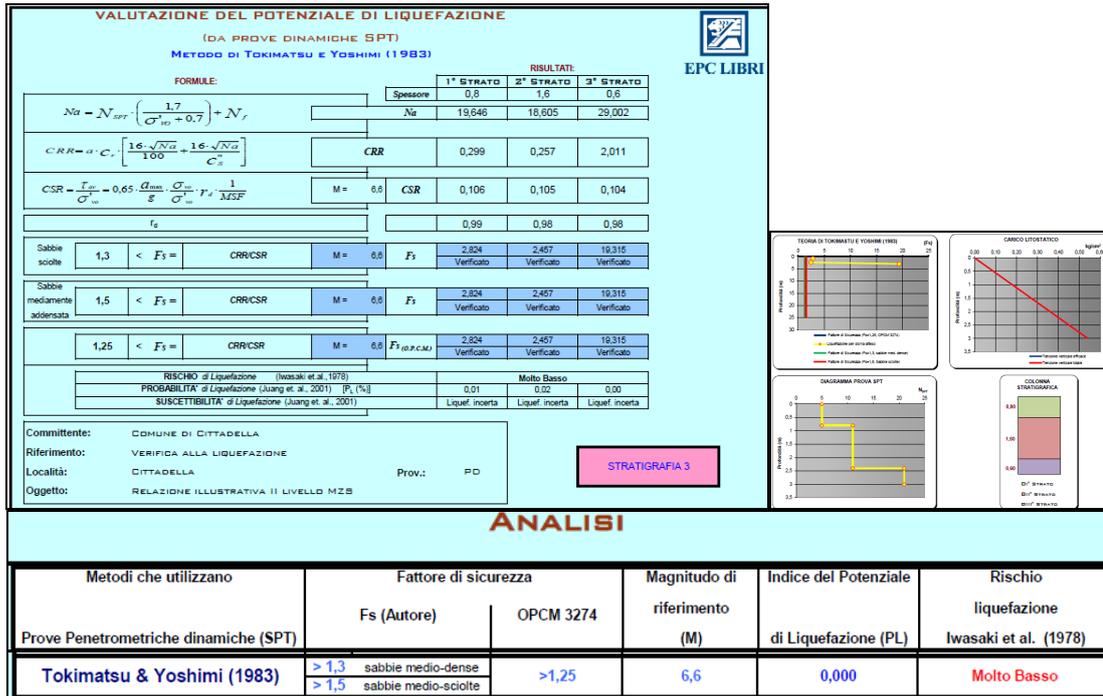


FIGURA 8 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P18

028032P17

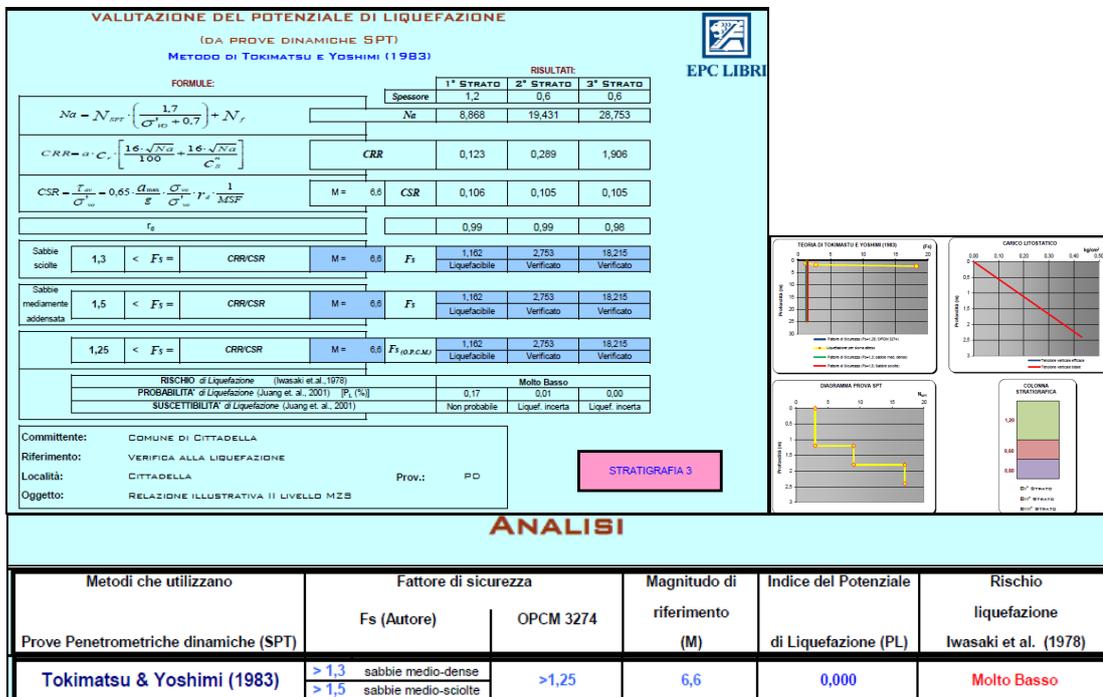


FIGURA 9 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P17

028032P15

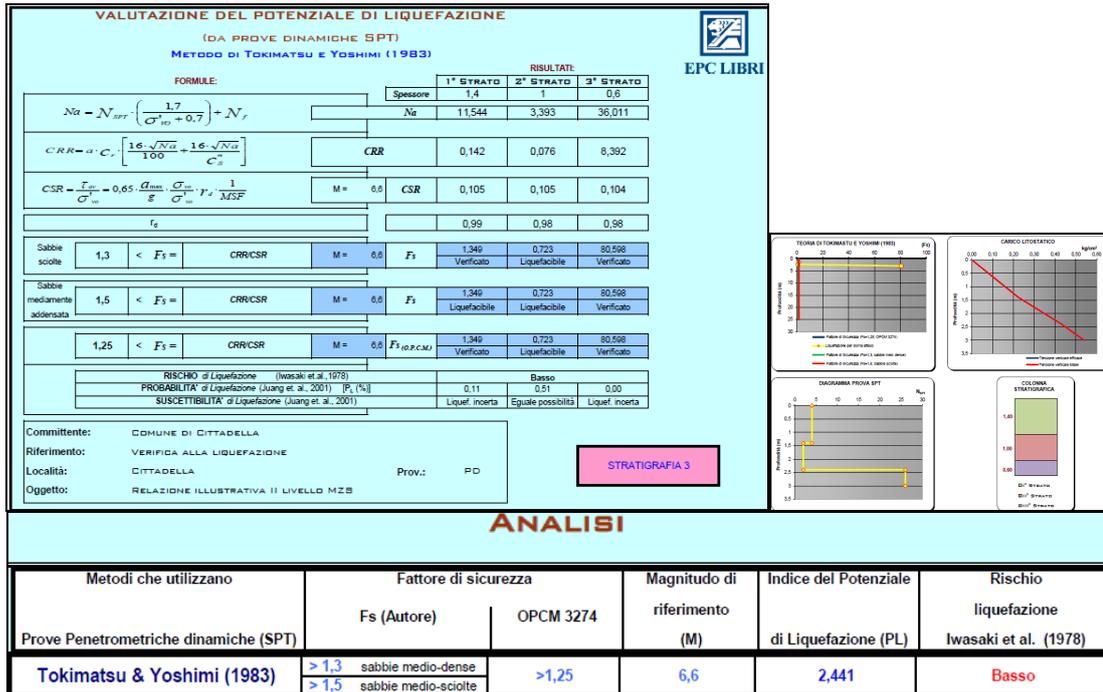


FIGURA 10 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P15

028032P16

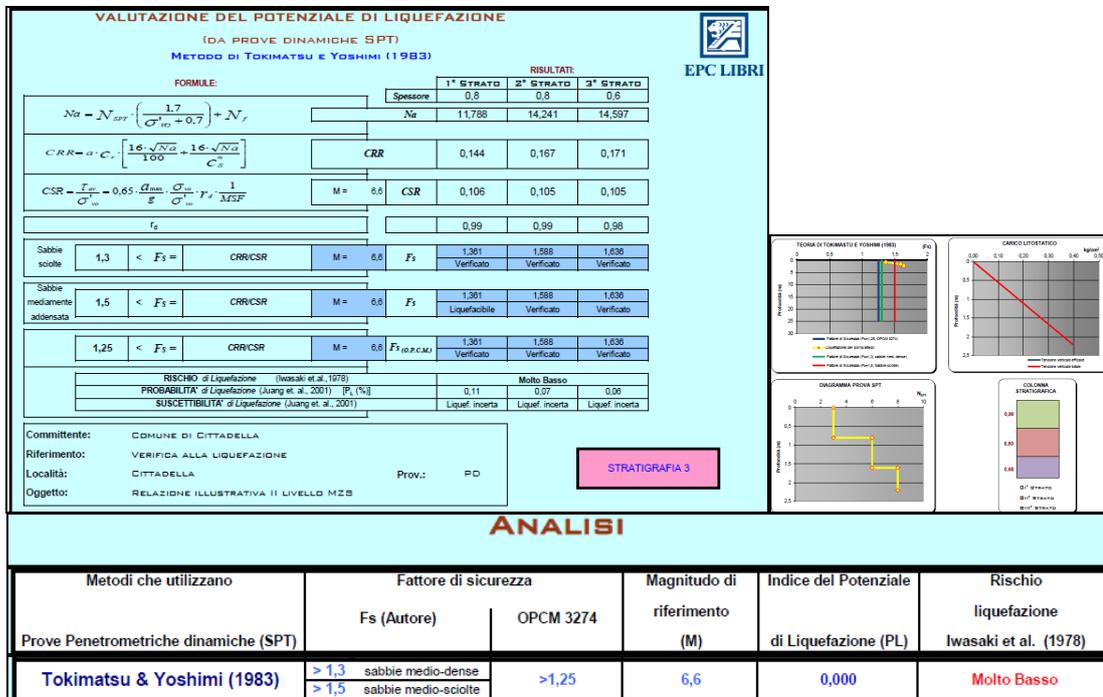


FIGURA 11 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P16

Le indagini di seguito riportate sono ubicate sulla zona 2003.

028032P5

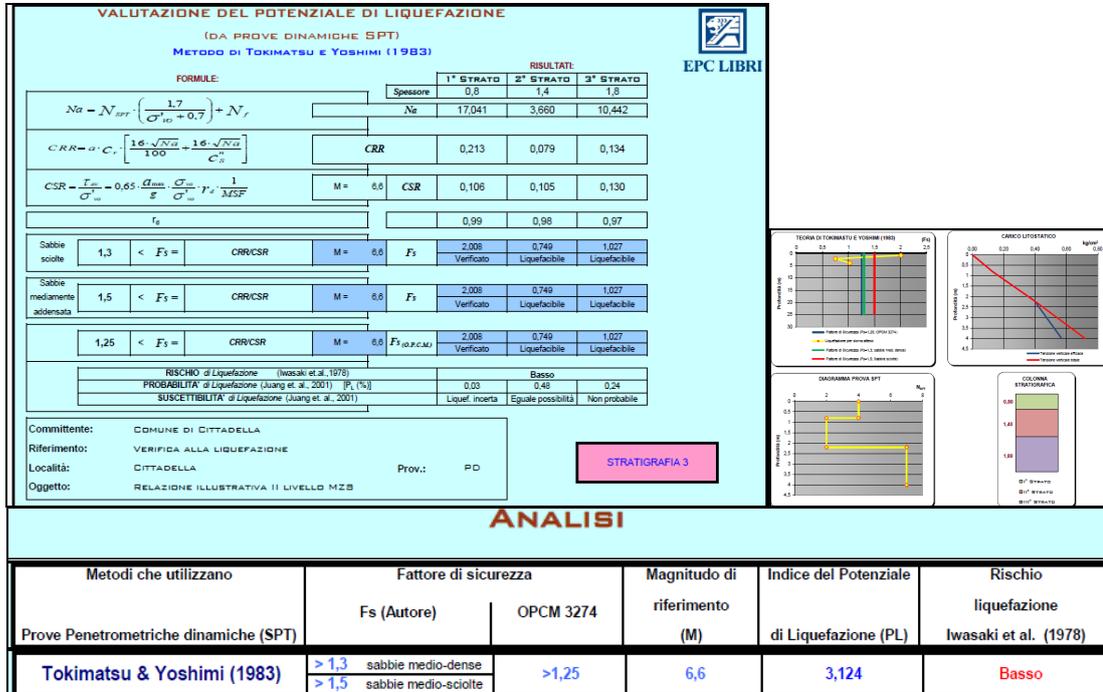


FIGURA 12 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P5

028032P6

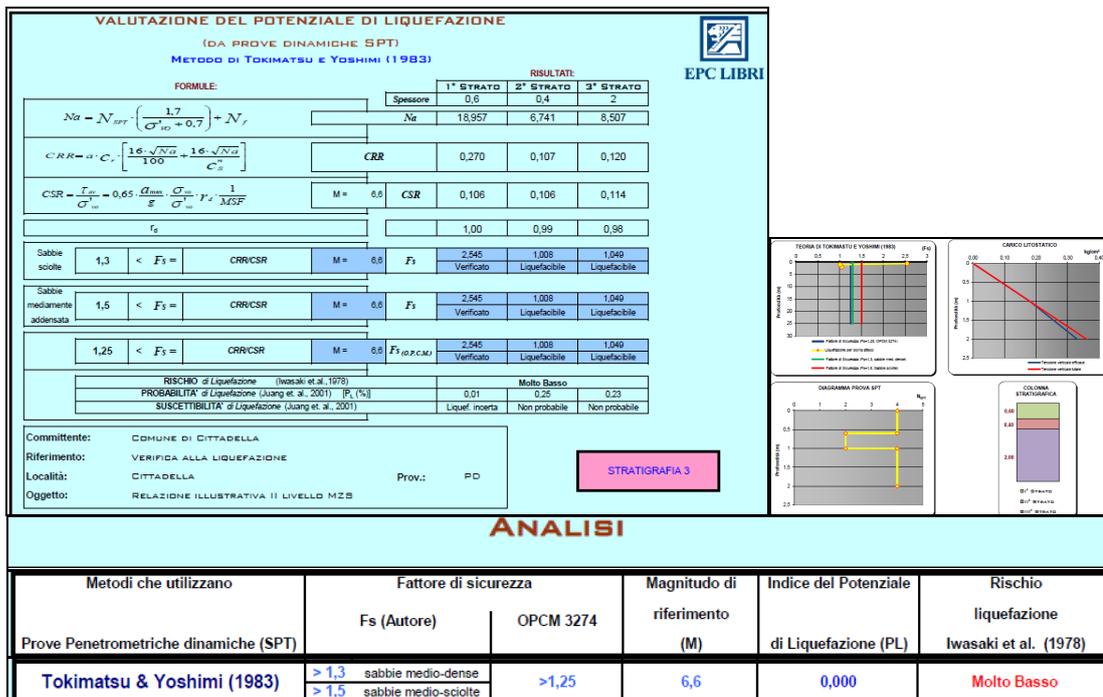


FIGURA 13 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P6

028032P7

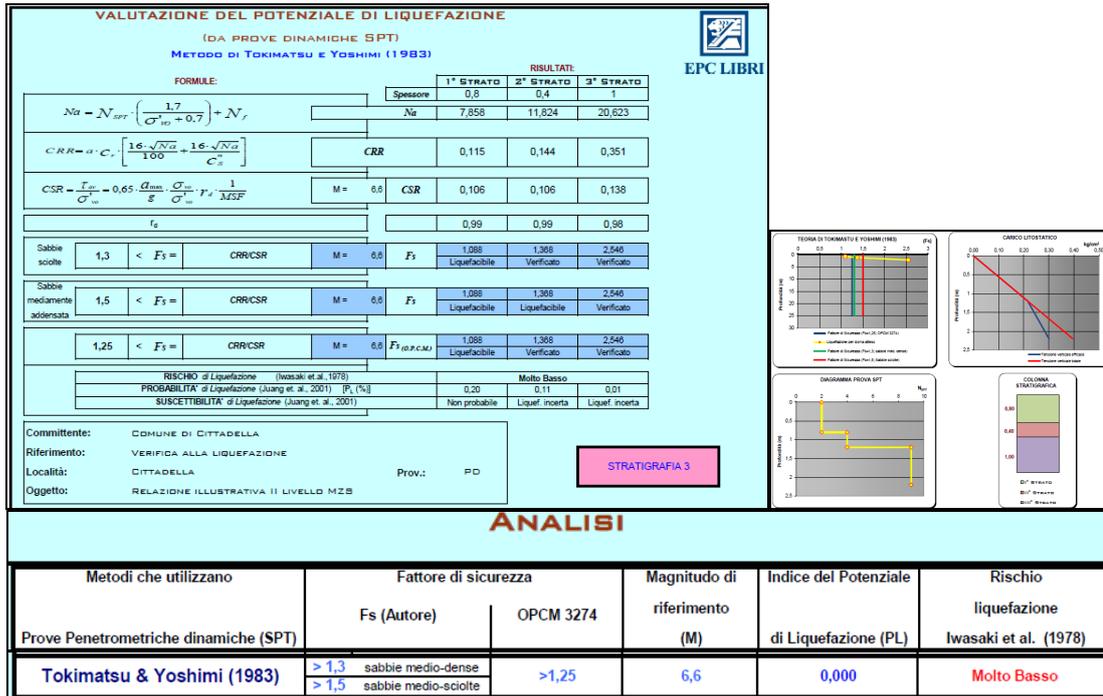


FIGURA 14 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P7

028032P8

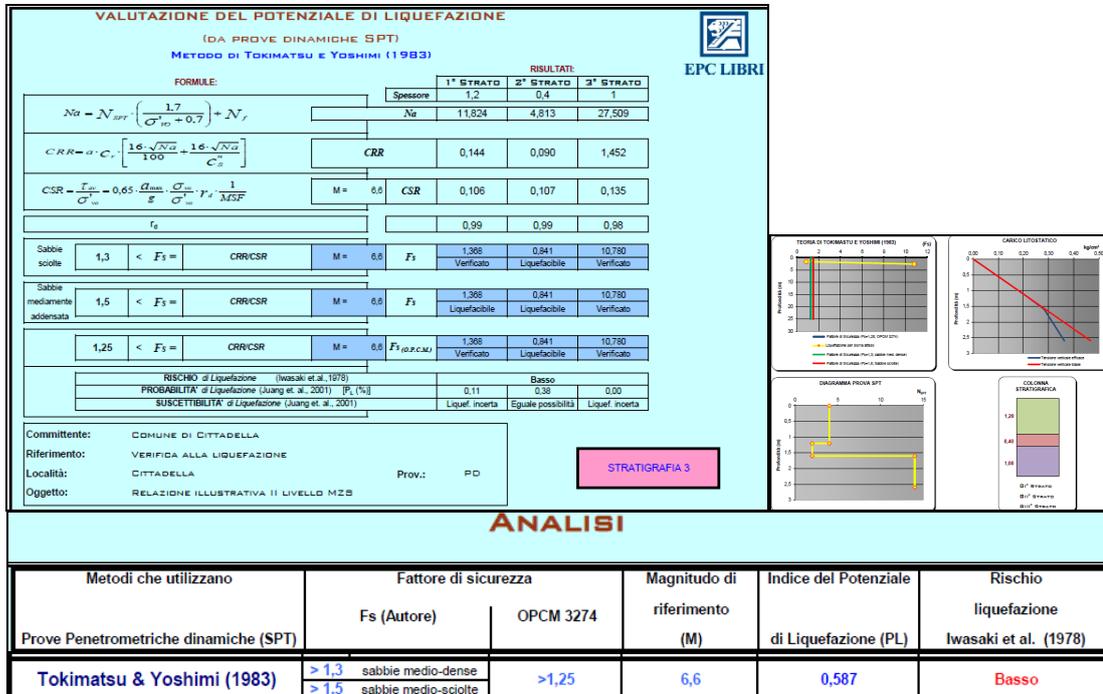


FIGURA 15 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P8

028032P9

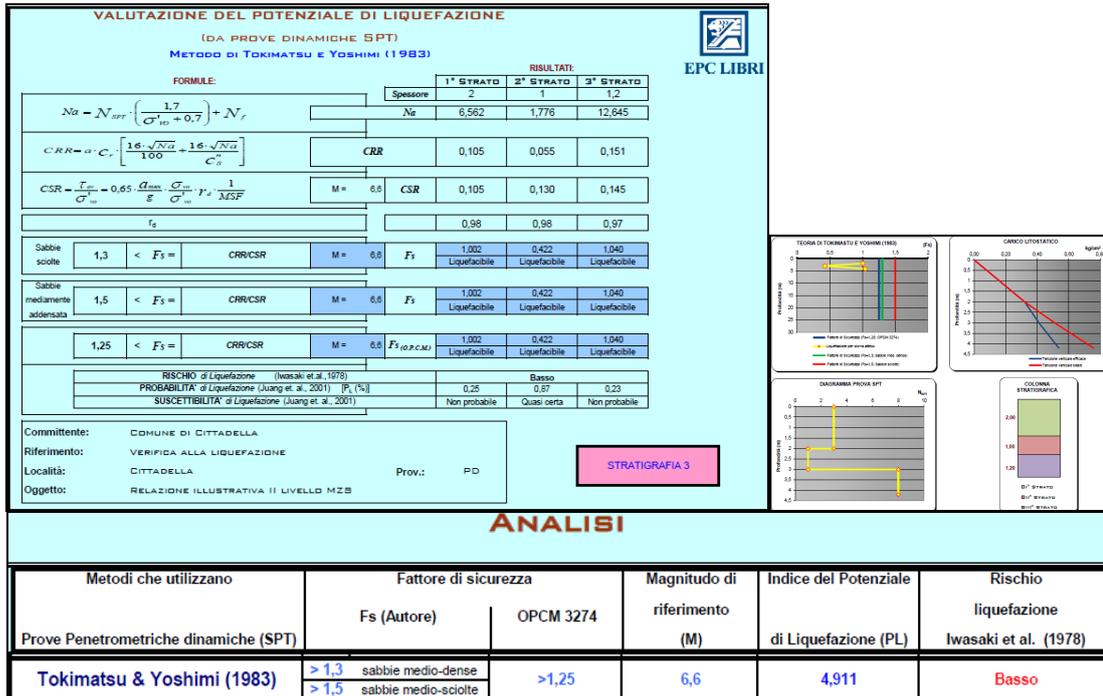


FIGURA 16 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P9

028032P11

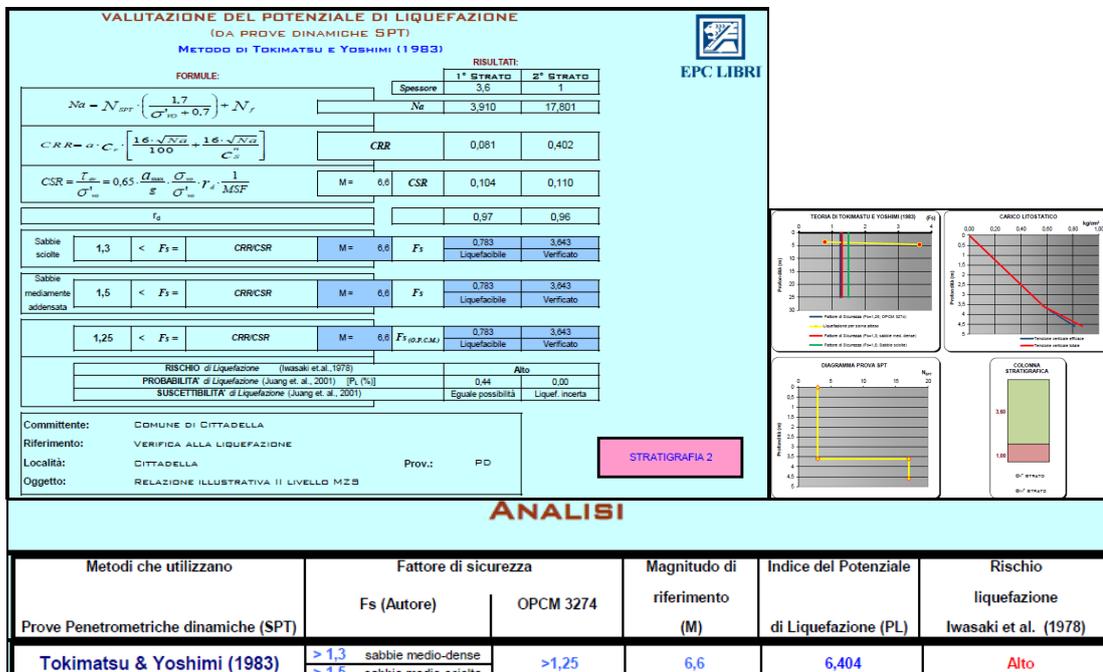


FIGURA 17 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P11

028032P12

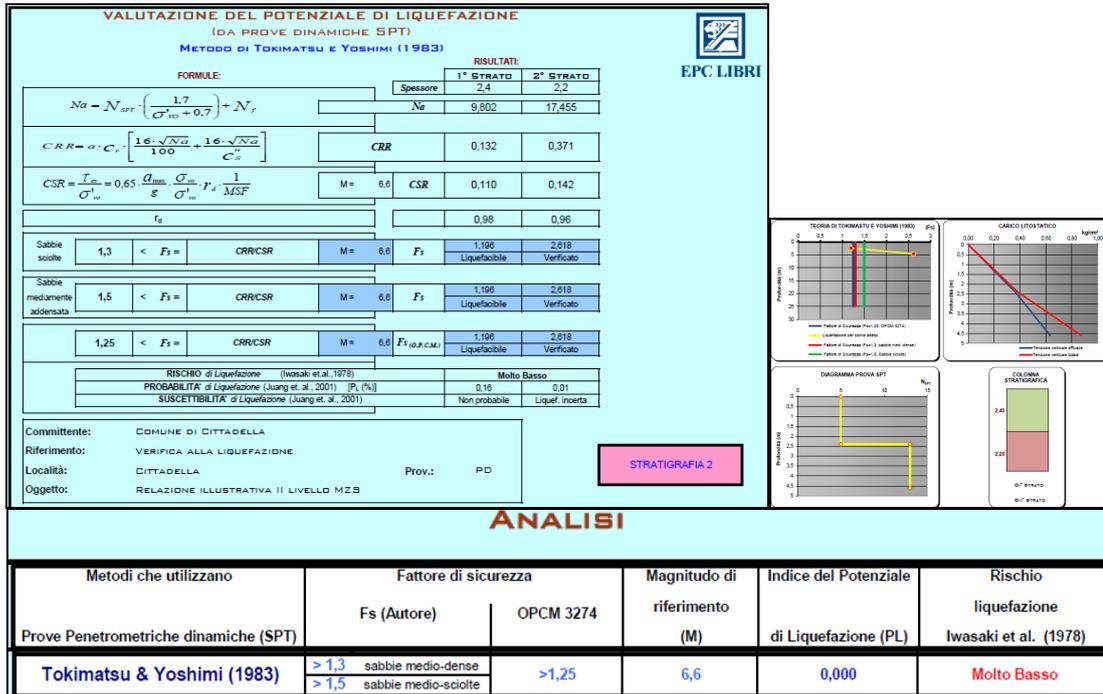


FIGURA 18 – VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA INDAGINE 028032P12

1.2.3 Risultati

Come riportato nelle Linee Guida per la Gestione del Territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ): "...l'acquisizione dei risultati di specifiche prove geotecniche in situ e di laboratorio, ha i seguenti obiettivi:

- stimare l'amplificazione litostratigrafica in superficie (a_{max} in superficie in condizioni di free field) attraverso modellazioni numeriche o, in particolari condizioni del sottosuolo, per mezzo di abachi di amplificazione litostratigrafica;
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della liquefazione;
- attribuire per quella zona, con analisi semplificate, un **Indice di potenziale di Liquefazione medio (IL)**, ripartito in quattro classi:

IL	CLASSI
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ ed in laboratorio e dei metodi di analisi della suscettibilità;
- definire le aree di ZS_{LQ} ($2 < IL \leq 15$) mediante analisi semplificate;

- *definire le aree di ZR_{LQ} ($IL > 15$) mediante analisi avanzate; su tali zone è opportuno condurre ulteriori indagini al fine di confermare le ZR_{LQ} ...*

Facendo una media dell'indice di liquefazione nella zona 2002 questo risulta essere 0.91 rientrando, così, nella classe con $0 < IL \leq 2$ "Nullo-bassa".

Procedendo nel medesimo modo sulla zona 2003 IL medio risulta essere 2.3 rientrando, quindi, nella classe $2 < IL \leq 5$ "Moderato".

Considerato quanto detto, nella Carta di Microzonazione Sismica di II/III Livello allegata allo studio già presentato, si è ritenuto opportuno eliminare l'instabilità per liquefazione nella zona 2002, lasciarne una parte nella zona 2003 e non procedere con analisi avanzate di III Livello in quanto IL medio risulta essere < 15 .