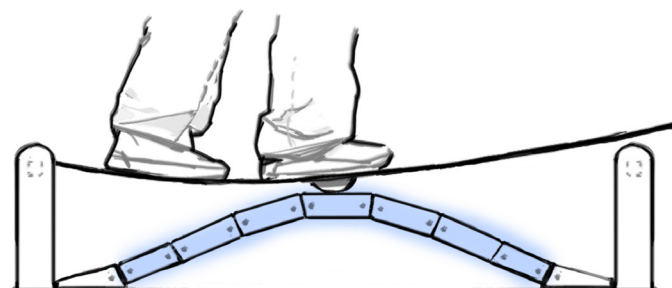
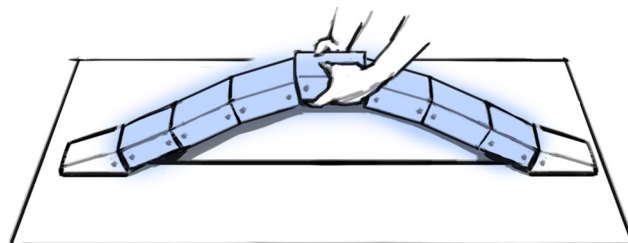
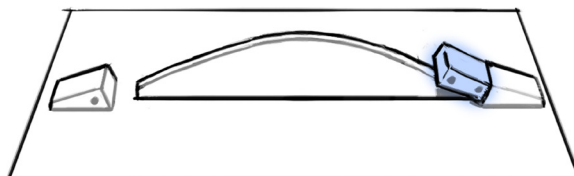
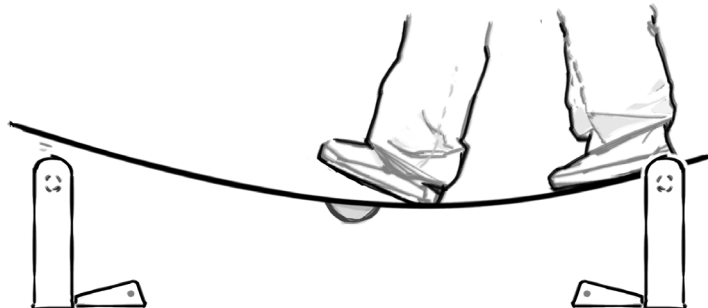


Brücke mit losen Steinen



Legen Sie die schwarze Fahrbahn auf die äusseren Brückenpfeiler und versuchen Sie hinüberzugehen - eine ziemlich „wackelige“ Angelegenheit!

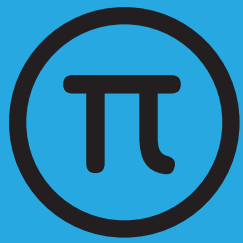


Was tun und beachten:

- *Entfernen Sie die Fahrbahn und bauen Sie mit der gelben Aufstellhilfe den Bogen aus losen Steinen auf - zu zweit geht's besser.*
- *Die Farbmarkierungen helfen, die richtige Reihenfolge der Steine zu finden.*
- *Legen Sie die schwarze Fahrbahn erneut auf und gehen Sie über die Brücke.*
- *Drücken Sie auch mal ohne Fahrbahn auf die Steine - wann bricht der Brückenbogen plötzlich zusammen?*

Wer mehr wissen möchte:

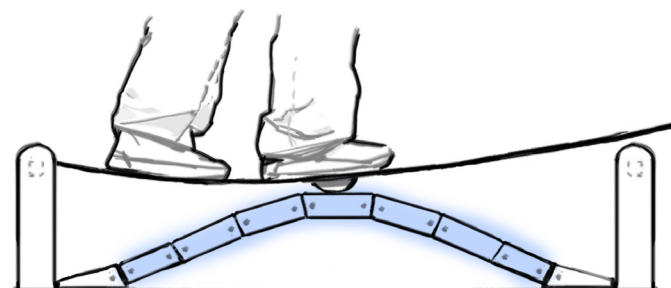
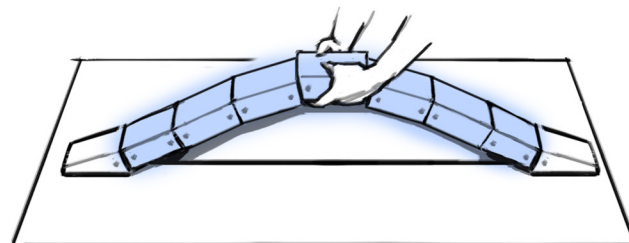
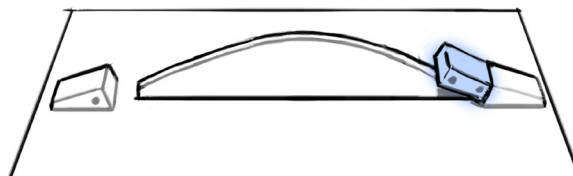
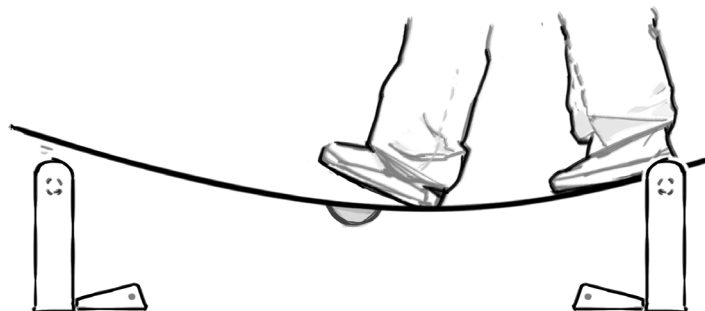
lesen Sie den Zusatztext



Brücke mit losen Steinen



Legen Sie die schwarze Fahrbahn auf die äusseren Brückenpfeiler und versuchen Sie hinüberzugehen - eine ziemlich „wackelige“ Angelegenheit!

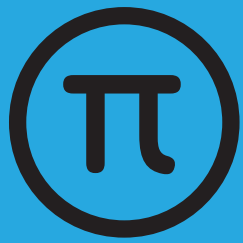


Was tun und beachten:

- *Entfernen Sie die Fahrbahn und bauen Sie mit der gelben Aufstellhilfe den Bogen aus losen Steinen auf - zu zweit geht's besser.*
- *Die Farbmarkierungen helfen, die richtige Reihenfolge der Steine zu finden.*
- *Legen Sie die schwarze Fahrbahn erneut auf und gehen Sie über die Brücke.*
- *Drücken Sie auch mal ohne Fahrbahn auf die Steine - wann bricht der Brückenbogen plötzlich zusammen?*

Wer mehr wissen möchte:





Brücke mit losen Steinen



Wer mehr wissen möchte

Diese Brückenform ist eine der ältesten Konstruktionsformen für Brücken.

Sie haben festgestellt, dass keinerlei Verbindungsmittel diese Blöcke zusammenhalten; weder Leim noch Zement noch sonstwas. Und doch ist die Konstruktion dazu geeignet, Ihr ganzes Gewicht zu tragen - jedenfalls auf dem mittleren Block.

Solche Bögen sind stabil genug, weil sie drücken. Wenn Bodenform und Bogenquerschnitt so gewählt werden, dass die Stützlinien (der Lastverlauf) innerhalb des Kernquerschnittes verläuft, treten nur noch Druckkräfte und keinerlei Zugspannungen auf. Mörtel zwischen den Steinen ist dann nicht notwendig. Allerdings müssen die Widerlager solcher Brücken sehr stark sein. Wenn sie nachgeben, fällt alles zusammen.

Ein Nachteil dieser Brückenform ist, dass der Bogen selbst meist nicht befahrbar ist. So muss wie in diesem Experiment eine Fahrbahn aufgelegt werden, bei manchen Brücken ist die Fahrbahn auch unterhalb an den Bogen angehängt.

Bögen sind praktisch, weil viele Materialien nur auf Druck beanspruchbar sind: Aus Steinen kann man kaum eine Kette fertigen. Bögen sind zumeist aus Stein, Gusseisen oder Beton. Beachten Sie solche Bögen bei Brücken, gewölbten Dächern von Kirchen und (so unglaublich es klingen mag) in altmodischen hölzernen Wagenrädern. Eine Kuppel besteht, im Grunde genommen, aus kreisförmigen Bögen.

Die Form des Bogens der idealen Bogenbrücke ist übrigens kein Kreisabschnitt - es handelt sich vielmehr um eine «gespiegelte Kettenlinie». Die Kettenlinie ist die Form, die eine frei hängende Kette unter dem Einfluss der Schwerkraft annimmt. Auch wenn diese Linie einer Parabel täuschend ähnlich sieht, lässt sie sich doch durch keine Parabel, die eine quadratische Funktion ist, darstellen. Es handelt sich um eine elementare mathematische Funktion, den «Cosinus hyperbolicus», kurz «cosh» (der Beweis, dass die Kettenkurve keine Parabel ist, gelang übrigens erst 1691 Gottfried Leibniz, Christiaan Huygens und Johann Bernoulli).

Übrigens verformt sich die Kettenlinie unter einer sehr schweren, gleichmäßig auf alle Steine verteilten Last zu einer Parabel.

Sie können die Kettenlinie am benachbarten Exponat «Kettenlinie» genauer unter die Lupe nehmen.

Die längste Bogenbrücke der Welt (2009), die Chaotianmen Brücke, überspannt mit ihrem 552 m weiten Bogen den Yangtse-Fluss in China.



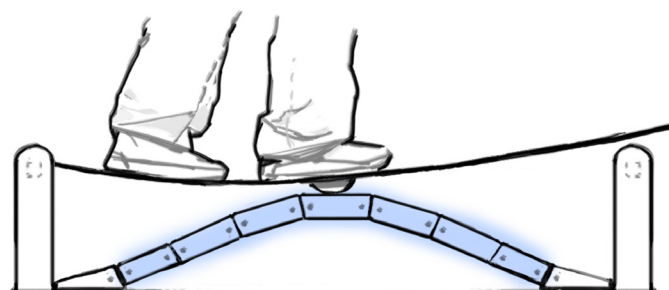
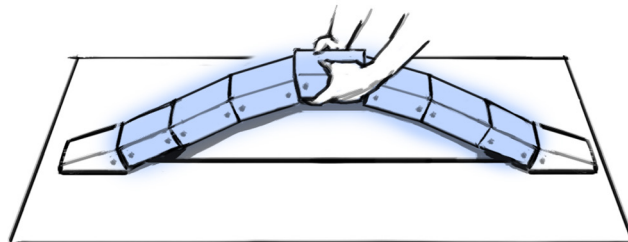
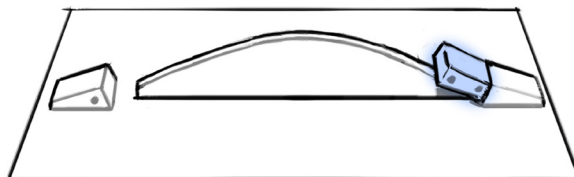
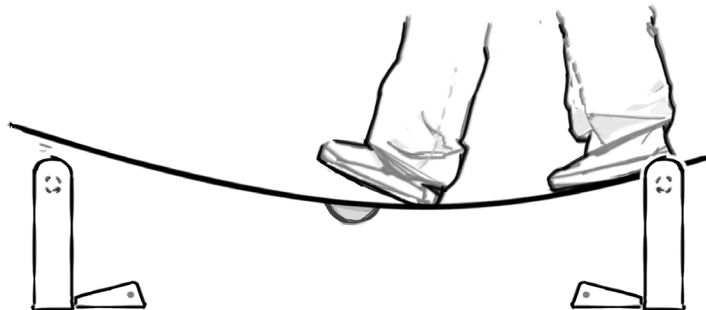
Was tun und beachten:





Loose Stone Bridge

Lay the black walkway across the two bridge pillars and try to walk across – a rather “waggly” business!

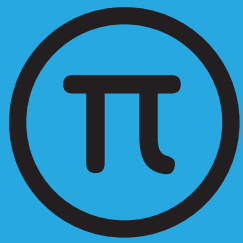


To do and notice:

- Remove the walkway and use the yellow former to build a bridge with the stones. It's easier with two pairs of hands.
- The stones are marked to help you get them in the right order.
- Replace the walkway and walk across the bridge again.
- Remove the walkway and press carefully on other stones. How does the arch suddenly collapse?

Want to know more?





Loose Stone Bridge

Want to know more?

This bridge shape is one of the oldest types of construction.

There is nothing whatever cementing the stones together, but the structure is able to carry your entire weight, at least on the central block.

Bridges like this are stable enough, because they are in compression. Provided the shape of the arch and stones are properly chosen, so that the line of forces stays within the stone cross-sections, there will only be compression between the stones. For this reason, there is no need for any mortar. Naturally, the ends of the arch must be firmly fixed in the ground to prevent them from pushing outwards. If they fail, the bridge will fall down!

A disadvantage of this simple bridge is that the arch itself is hump-backed. A flat roadway must be laid across it, or, as in some metal arches, suspended from it.

Arches are very useful because many materials can sustain compression and not tension. You can't make a chain out of stone or brick! Arches were mostly made from stone, brick, cast-iron or concrete. Look at bridge arches when you get the chance, and also domed roofs of buildings, and, believe it or not, old-fashioned wooden wagon-wheels! A dome can be thought of as an arch swung through 360 degrees.

Strictly, the best shape of an arch is not an arc of a circle, but either a catenary, or else a parabola, a rather similar curve.

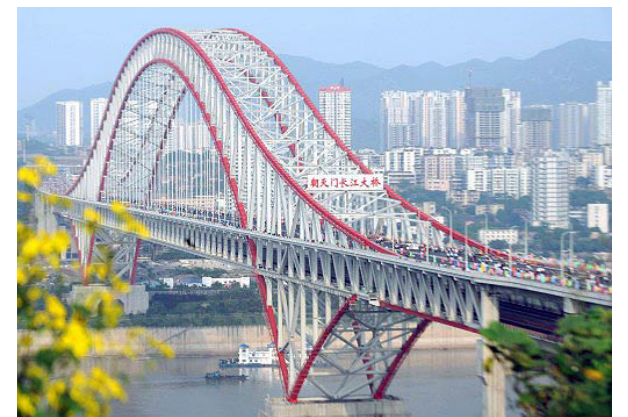
If the weight is distributed uniformly along the arch, as in this bridge without the walkway, it is like an upside-down hanging chain or rope. The curve is mathematically a hyperbolic cosine, shortened to cosh, which is the average of two exponential functions:

$$y = \cosh x = \frac{1}{2} (e^x + e^{-x}).$$

To find the precise formula for a catenary was a celebrated mathematical problem in the late 17th century, and was solved independently by Johann Bernoulli, Christiaan Huyghens and Gottfried Leibnitz.

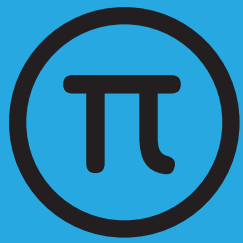
If the walkway had been supported equally by all of the stones, and with a load on it, much heavier than the arch itself, then the arch adjusts to a parabola, which is a simple quadratic curve, e.g.: $y = x^2$.

The longest arch bridge in the world is currently (2010) the Chaotianman Bridge, whose 552 m long steel arch crosses the Yangtse river in China.



To do and notice:

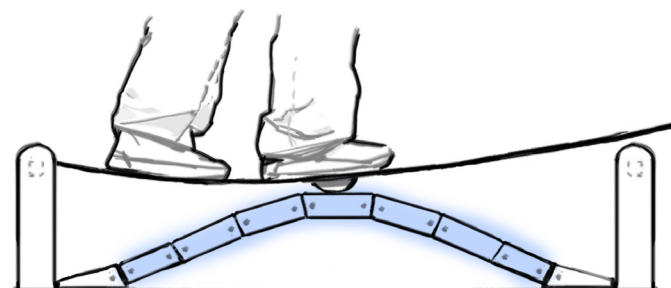
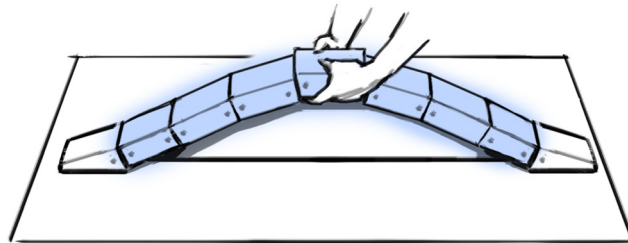
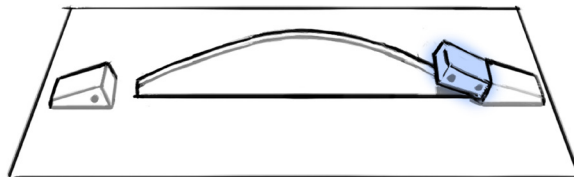
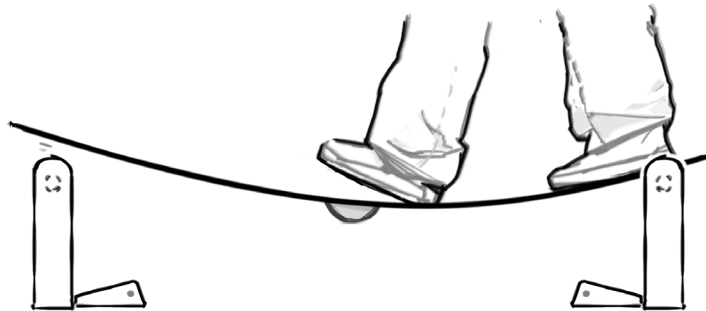




Pont en pierres mobiles



Posez la route noire sur les piliers extérieurs au pont et essayez de le traverser à pieds – c'est très chancelant!

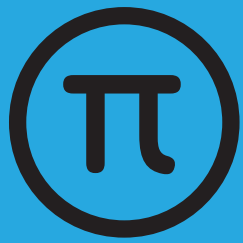


A vous de jouer:

- Retirez la route et construisez l'arc en pierres mobiles à l'aide du plot jaune – c'est plus facile à deux .
- Les marquages en couleur vous aident à trouver le bon ordre des pierres.
- Remettez la route noire et traversez le pont de nouveau.
- Appuyez aussi sur les pierres sans mettre la route – à quel moment le pont s'écroule-t-il?

Pour en savoir plus:





Pont en pierres mobiles



Pour en savoir plus

Cette forme de pont est l'une des plus anciennes formes de construction des ponts.

Vous avez constaté qu'il n'y a rien qui lie les blocs, ni ciment, ni colle, ni autre chose. Cependant, la construction peut supporter votre poids – en tout cas sur le bloc du milieu.

De tels arcs sont assez stables parce qu'ils se compriment. Quand on choisit la forme et le diamètre de la section tels que les lignes la répartition de la charge se trouvent au voisinage de la ligne neutre, il n'y a que des forces de pression mais pas de forces de traction qui s'exercent sur le pont. Cela signifie qu'on n'a pas besoin de mortier entre les pierres. Mais les culées de ces ponts doivent être très forts. Quand ces derniers se cassent, le tout s'écroule.

Un inconvénient de cette forme de pont est que l'arc lui-même n'est souvent pas praticable. Par conséquent il faut poser une route au-dessus comme dans notre expérience. Dans certains ponts, la route est accrochée en-dessous de l'arc.

Les arcs sont pratiques parce que beaucoup de matériaux ne peuvent être soumis qu'à des pressions: on ne peut pas faire une chaînette de pierre. Les arcs sont souvent en pierre, en fonte, ou en béton.

On peut observer ce genre d'arcs dans des ponts, des toits voûtés des églises et même (cela paraît incroyable) des anciennes roues de charrette en bois.

Une coupole est en fait constituée d'arcs en forme de cercle. Cette forme d'arc du pont idéal n'est d'ailleurs pas un arc de cercle – il s'agit plutôt d'une «chaînette renversée». La chaînette est la forme qu'une chaîne libre prend sous l'influence de son poids. Même si la chaînette ressemble beaucoup à une parabole, il est impossible de la représenter par une parabole qui est une fonction quadratique.

Il s'agit d'une fonction mathématique élémentaire, le «cosinus hyperbolique», en court «cosh». (C est seulement en 1691 que Gottfried Leibniz, Christiaan Huygens et Johann Bernoulli ont démontré que la forme d'une chaînette n'est pas une parabole).

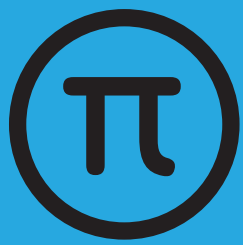
Vous pouvez regarder la chaînette de plus près dans l'expérience à côté.

L'un des ponts libres les plus connus est le «Gateway Arch» à St.Louis, aux Etats-Unis, qui fait 192m de haut.



A vous de jouer:

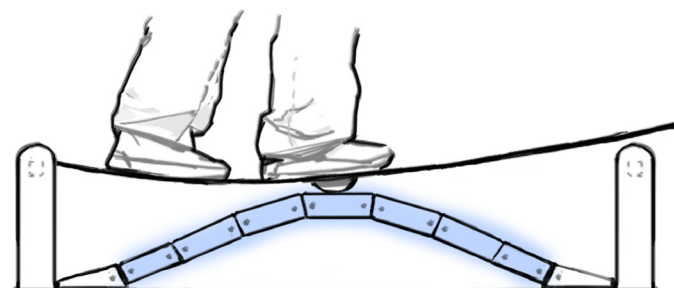
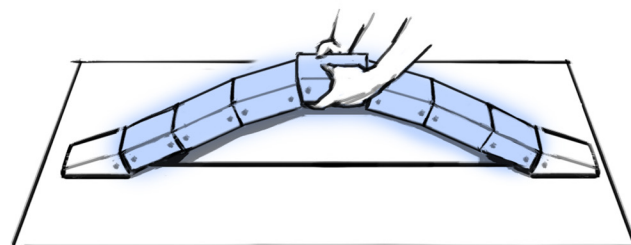
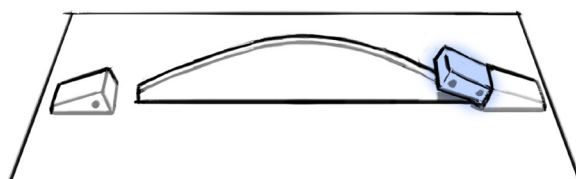
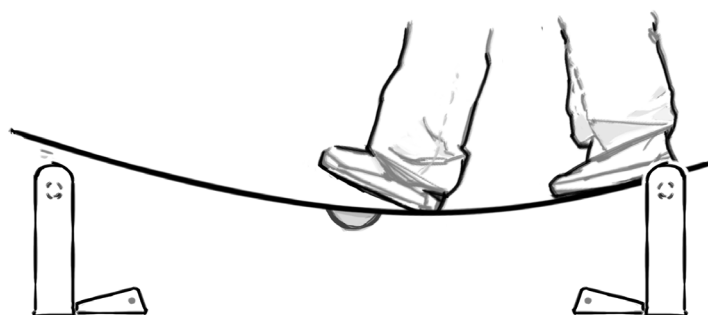




Ponte con elementi mobili



Appoggiate la passerella nera sui pilastri del ponte e provate a camminarci sopra: è un ponte piuttosto „ballerino“!

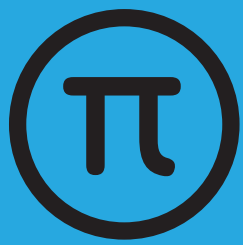


Che cosa fare:

- *Ora togliete la passerella e costruite un ponte appoggiandolo sulla sagoma gialla: è più facile se siete in due a costruirlo.*
- *Per trovare la successione giusta dei pezzi, usate le indicazioni colorate.*
- *Ora appoggiate di nuovo la passerella sui pilastri e camminateci sopra.*
- *Provate a premere sulla costruzione, dopo aver tolto la passerella: quand'è che l'arco del ponte crolla improvvisamente?*

Vuole saperne di più?





Ponte con elementi mobili



Vuole saperne di più?

Questa forma di ponte è una delle più antiche forme di costruzione impiegate per i ponti.

Come avete potuto constatare, non ci sono leganti a tenere insieme gli elementi di costruzione: né colla né cemento né altro. Eppure la costruzione è sufficiente a sostenere tutto il vostro peso, anche se quest'ultimo poggia completamente sul blocco centrale.

Archi del genere sono abbastanza stabili, perchè esercitano una pressione. Se la forma del terreno e la sezione dell'arco vengono scelti in modo tale che le linee di spinta (la curva di carico) passano attraverso la sezione centrale, le uniche forze che si esercitano sono di pressione e non di trazione. Per questo motivo non è necessaria la malta a legare le pietre. Naturalmente i contrafforti di questi ponti devono essere molto robusti: se cedono, crolla tutto.

Uno svantaggio di questa forma di ponte è che l'arco stesso per lo più non è percorribile. Perciò bisogna provvedere, come nel nostro esperimento, a sovrapporvi un impalcato (la passerella): in alcuni ponti la passerella è collocata alla base dell'arco.

Gli archi sono pratici e, come molti materiali, possono essere sottoposti solo a una pressione: è quasi impossibile costruire una catena di pietre. Per la maggior parte, gli archi sono costruiti con pietra, ghisa o cemento. Potete

osservare archi di questo tipo nei ponti, nei tetti a cupola delle chiese e (per quanto possa sembrare incredibile) nelle ruote di legno dei carri, costruite con una tecnica antiquata. In fondo una cupola è costruita con archi semicircolari.

La forma dell'arco di un ponte ad arco ideale non è una sezione di cerchio, casomai si tratta di una „catenaria speculare“. La catenaria è la forma che assume una catena appesa per le estremità, che pende liberamente per effetto della gravità. Anche se questa linea somiglia ingannevolmente a una parabola, non si può rappresentare con una parabola che è una funzione quadratica. Si tratta invece di una funzione matematica elementare, il „coseno iperbolico“, abbreviato in cosh (la dimostrazione che la catenaria non è una parabola fu fornita nel 1691 da Gottfried Leibniz, Christiaan Huygens e Johann Bernoulli).

Alla „Catenaria“ è dedicato un altro esperimento di questa stessa sezione.

Uno dei più famosi ponti ad arco libero è il Gateway Arch di St. Louis (Usa), alto 192 metri.



Che cosa fare:

